C.M.A.S.

BREVET

*+**

Version 2.4. TSVÖ 2005 Zauchner/Beuster

bergseetauchen@aon.at

B R E V E T *+**

Tauchen eröffnet die Unterwasserwelt für Naturbeobachter. Freizeittaucher sind von der schwerelosen Bewegung begeistert. Die Farbenpracht und der Fischreichtum tropischer Meere ist eine Erlebniswelt für Urlaubstaucher – lauter Gründe, um tauchen anzufangen.

Der Tauchsport ist jedoch mit Risiken verbunden, wenn er ohne angemessene Ausbildung betrieben wird. Es ist daher Aufgabe des Tauchsportverbands Österreichs und der anderen österreichischen Tauchsportvereine, geeignete Ausbildungsrichtlinien zu erstellen und immer wieder durch neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu ergänzen, damit die Ausbildung für Sporttaucher auf hohem Niveau sichergestellt und die Unfallgefahr weitgehend ausgeschlossen wird.

Die Ausbildung soll den Taucher zu einem umweltfreundlichen Verhalten anleiten, damit die Schönheit der Tauchplätze und ihr Fischreichtum auch für nachkommende Taucher erhalten bleiben.

Österreich ist ein gebirgiges Land. Die Ausbildung muss den Taucher dazu befähigen, nicht nur im Meer, sondern auch in den Seen über Meeresniveau mit deren besonderen Bedingungen sicher zu tauchen. Die Tauchgangsplanung muss so einfach sein, dass sie in der Praxis nachvollziehbar ist und auch tatsächlich durchgeführt wird.

Für den interessierten Taucher wurden im folgenden Text Kontrollfragen mit den richtigen Antworten ausgearbeitet, damit er überprüfen kann, wie weit er die wesentlichen Inhalte verstanden hat.

Alle Rechte, die mit der Verbreitung und Vervielfältigung dieses Skriptums zusammenhängen, bleiben den Autoren und dem Tauchsportverband Österreichs (TSVÖ) vorbehalten, in dessen Auftrag dieses Skriptum geschrieben worden ist.

Alle in diesem Skriptum enthaltenen Angaben und Zusammenhänge sind nach bestem Wissen herausgearbeitet und sorgfältig geprüft worden. Inhaltliche Fehler können jedoch nicht völlig ausgeschlossen werden. Daher erfolgen die Angaben ohne jegliche Verpflichtung oder Garantie.

Impressum:

Version:	2.4.
Autoren:	Ing. Helmut Zauchner, CMAS M** AUT 32/82
	Dr. Wilfried Beuster, Leiter der Medizinischen Kommission des TSVÖ
Gedruckt:	Jan - 2005

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort 12

2. Sporttauchen in Österreich 13

2.1. Warum will jemand tauchen lernen? 13

2.2. Welche Besonderheiten gibt's im Bergland? 13

2.3. Wo kann man tauchen lernen? 13

2.4. Anforderungen an Taucher 14

2.5. Kursablauf 14

2.6. Das Skriptum soll die Ausbildung begleiten 15

3. Unter Wasser ist alles anders 16

4. Die Tauchausrüstung 18

4.1. „ABC-Ausrüstung" fürs Schwimmbad 18

4.1.1. Bad- und Schnorchelflossen 18

4.1.2. Tauchermaske 18

4.1.3. Schnorchel 20

4.2. Ausrüstung zum „Gerätetauchen" 21

4.2.1. Presslufttauchgerät (PTG) 21

4.2.2. Kennzeichnung und Prüfung: 22

4.2.3. Jacket 23

4.2.4. Bleigürtel 26

4.2.5. Atemregler mit Finimeter und Inflatorschlauch 26

4.3. Tauchausrüstung für das Freiwasser 30

4.3.1. Nasstauchanzug mit und ohne Kopfhaube 30

4.3.2. Flossen zum Gerätetauchen 32

4.3.3. Füßlinge 33

4.3.4. Handschuhe 34

4.4. Ausrüstung für ausgebildete Taucher 34

4.4.1. Tauchuhr / Tiefenmesser / Tauchtabelle 34

4.4.2. Dekompressionscomputer 35

4.4.3. Kompass 36

4.4.4. Unterwasser-Scheinwerfer: 36
4.4.5. Signalpfeife: 37
4.4.6. Messer 37
4.4.7. Signalboje 37
4.4.8. Notsignalboje 38
4.4.9. Taucherflagge 38
4.5. Wartung, Pflege der Ausrüstung 39

5. Physik als Grundlage der Dekompression 41
5.1. Temperatur 41
5.2. Umgebungsdruck im Wasser 41
5.3. Luft: 42
5.4. Wo kommt die Atemluft des Tauchers her? 42
5.5. Gesetz von Boyle-Mariotte 44
5.5.1. Das Gesetz von Boyle-Mariotte hat auch andere Auswirkungen ... 44
5.5.2. Der Umgebungsdruck wird beim Tauchen verändert 45
5.6. Gesetz von Dalton 45
5.7. Gesetz von Henry 46

6. Gastheorien 48
6.1. Theorie der gelösten Gase (Gasdiffusion) 48
6.2. Theorie der Mikrobläschen 49

7. Gewebe / Kompartimente 51
7.1. Beispiel für Entsättigung und Halbwertszeit 51
7.2. Beispiel für die Sättigung 51
7.3. Der „tolerierte Umgebungsdruck“ von Bühlmann 52

8. Austauchvorschriften: 54

9. Faktoren, welche die Dekompression beeinflussen 55

10. Druckänderungen während des Tauchgangs 59
10.1. Aufstiegsgeschwindigkeit 60
10.2. Sicherheitsstopps 61
10.3. Nullzeit 61

11. Tauchgänge 63
11.1. Nullzeittauchgänge 63

11.2. Wiederholungstauchgänge 64
11.3. Tauchgänge am Bergsee 64

12. Tabellen & Computer 66
12.1. Höhenbereiche von Tabellen / Tiefenzuschlag 66
12.2. In der Praxis werden Tauchcomputer verwendet 67

13. Dekompressionstabellen 71

14. Anwendung der Tabelle NITROX 21 74
14.1. Der „blasenarme Aufstieg“ 74
14.2. Tabelle für den Ersttauchgang 75
14.3. Tabelle für den Folgetauchgang (Wiederholungstauchgang) 76

15. Tauchgangsplanung & Luftverbrauch 78
15.1. Durchschnittlicher Luftverbrauch 79
15.2. Der „durchschnittliche Druckverbrauch“ 79
15.3. Druckverbrauch während der Austauchphase 80
15.4. Druckverbrauch für den „standardisierten Aufstieg“ 81
15.5. Abschätzung der Grundzeit 81
15.6. Der Tauchgangsplaner 82
15.7. Planungsbeispiel mit der NITROX 21 Tabelle 83

16. Tauchmedizin 88
16.1. Blut und Kreislauf 88
16.2. Die Atmung 88
16.3. Luftgefüllte Hohlräume der Körpers und Druckausgleich 89
16.3.1. Barotrauma 89
16.3.2. Hyperventilation 93
16.4. Dekompressionsunfall 94
16.4.1. Verdacht auf Tauchunfall 95
16.4.2. Sofortmaßnahmen bei Tauchunfall 95
16.5 Beinahe-Ertrinken 97
16.5.1. Ablauf eines Ertrinkungsvorgangs 97
16.5.2. Unterscheidung Ertrinken – Beinahe-Ertrinken 98
16.5.3. Unterscheidung Beinahe-Ertrinken im Süß- und Salzwasser 98
16.5.4. Hauptproblem = Sauerstoffmangel 98

16.5.5. Sofortmaßnahmen bei Beinahe-Ertrinken 98
16.6. Inertgasnarkose („Tiefenrausch“): 98
16.7. Sauerstoffvergiftung 99
16.7.1. Prophylaxe und Maßnahmen bei einer Sauerstoffvergiftung 100
16.8. Wärme- und Kälteexposition 100
16.8.1. Überhitzung 100
16.8.2. Unterkühlung 100
16.9. Schock 101
16.10. Praktisches Unfallmanagement am Tauchplatz 101
16.11. Lebensrettende Sofortmaßnahmen 101
16.11.1. Bewusstseinskontrolle 102
16.11.2. Atmungskontrolle 102
16.11.3. Atemwege freilegen 102
16.11.4. Notfallbeatmung 102
16.11.5. Circulation (Kreislauf) 103
17.11.6. Wiederbelebungsrhythmus 104
16.11.7. Verständigung des Rettungsdienstes 104
16.11.8. Koordination 105
16.11.9. Erste Hilfe Kurs 105
16.12. Fragen & Antworten 106

17. Schnorcheltauchen im Schwimmbad 109
17.1. Einstieg ins Wasser 109
17.2. Flossenschwimmen 110
17.3. Abtauchen 110
17.4. Aufstieg 110

18. Tauchen mit Pressluft im Schwimmbad 111
18.1. Übungen im Schwimmbad 111
18.2. Handzeichen im Schwimmbad 112
18.3. Übungen zur Beherrschung der Ausrüstung 113
18.4. Übungen zur Stressbewältigung 114
18.5. Ablegen & Versorgen der Ausrüstung 115

19. Tauchausbildung im Freiwasser 116
19.1. Sicherheitsmaßnahmen müssen besprochen werden 116

19.2. Vor dem Tauchgang 117
19.3. Während des Tauchgangs 117
19.4. Übungstauchgänge 118
19.4.1. Gewöhnungstauchgang 118
19.4.2. Übungen zur Beherrschung von Ausrüstung und Aufstieg 118
19.4.3. Übungen zur Stressbewältigung nur in „Dekotiefe“ 118
19.4.4. Allgemeine Regeln für sicheres Tauchen 118
19.4.5. Tauchempfehlungen des Autors 120
20. Notfälle 121
21. Umweltschutz 122
21.1. Schutz des Eigentums, Tauchgenehmigung 122
21.2. Belastung im Uferbereich 122
21.3. Belastung des Tauchgewässers 122
21.4. Verhalten des Tauchers 122
22. Kontrollfragen zur Dekompression 124
23. Quellenverzeichnis 129
23. Verantwortung und Versicherung: 130
24. Notizen 131

Abbildungsverzeichnis

Fotos:

Foto 1: *Flossen*

Foto 2: *Maske*

Foto 3: *Schnorchel*

Foto 4: *Pressluftflasche mit 2 Ventilen*

Foto 5: *Flaschenkennzeichnung*

Foto 6: *Jacket*

Foto 7: *Atemregler*

Foto 8: *HP-Anschluss*

Foto 9: *Finimeter*

Foto 10: *Bleigürtel mit Bleitaschen*

Foto 11: *Nasstauchanzug*

Foto 12: *Computer*

Foto 13: *Kompass*

Foto 14: *Bühlmann/Hahn Tabelle*

Foto 15: *DECO92 Tabelle*

Foto 16: *H. Zauchner – Tabelle Nirtox21 Entwurf*

Foto 17: *Drei Generationen von „Tauchcomputern“*

Foto 18: *Schnorcheln mit ABC-Ausrüstung*

Foto 19: *Abkippen*

Foto 20: *Arm vorhalten*

Foto 21: *Einsteigen ins Wasser mit Gerät*

Foto 22: *Handzeichen im Schwimmbad*

Foto 23: *Tarieren*

Foto 24: *Rettungsübung*

Foto 25: *Handzeichen im See*

Grafiken:

Grafik 1: *Lichtbrechung*

Grafik 2: *Adapter*

Grafik 3: *Die Luftblasen im Neopren werden zusammengedrückt*

Grafik 4: *Wärmeschwingungen*

Grafik 5: *Hydrostatischer Druck*

Grafik 6: *Sättigung*

Grafik 7: *Gewebemodell ZH-L12*

Grafik 8: *Mikrobläschen*

Grafik 9: *Kapillare*

Grafik 10: *offenes Foramen Ovale*

Grafik 11: *Aufstieg in der Nullzeit*

Grafik 12: *Aufstieg mit Dekozeit*

Grafik 13: *Ersttauchgang*

Grafik 14: *Wiederholungstauchgang*

Grafik 15: *Der „blasenarme Aufstieg“*

Grafik 16: *1. Tauchgang*

Grafik 17: *Abschätzung des Druckverbrauchs*

Grafik 18: *2. Tauchgang*

Grafik 19: *Druckverbrauch*

Grafik 20: *Barotrauma des Auges*

Grafik 21: *Das Ohr*

Grafik 22: *Barotrauma des Magens*

Grafik 23: *Barotrauma der Lunge*

Grafik 24: *Hyperventilation*

Grafik 25: *Mund zu Mund Beatmung*

Grafik 26: *Herzdruckmassage*

Tabellen:

Tabelle 1: *Trockene Luft*

Tabelle 2: *Feuchte Atemluft in der Lunge des Tauchers*

Tabelle 3: *B. A. Müller Passfahrten und Fliegen*

Tabelle 4: *Nitrox 21*

Tabelle 5: *Druckverbrauch für den “standardisierten Aufstieg”*

Tabelle 6: *Nitrox 21*

Diagramme:

Diagramm 1: *Verlauf des Luftdrucks*

Diagramm 2: *Verteilung der Häufigkeit*

Diagramm 3: *Entsättigung und Halbwertszeit*

Diagramm 4: *Sättigung des 4- und 8 min-Gewebes*

Diagramm 5: *Druckänderungen*

Diagramm 6: *Aufstiegsmodell*

Diagramm 7: *Druckänderungen*

Diagramm 8: *Luftverbrauch pro Minute*

Diagramm 9: *Druckverbrauch pro Minute*

Diagramm 10: *Tauchgangsplaner*

Diagramm 11: *Druckänderungen*

1. Vorwort:

Die Grundausbildung muss den Taucher befähigen, in unseren österreichischen Bergseen sicher zu tauchen. Natürlich will ein Taucher auch im Urlaub vom Tauchschiff aus mehrmals pro Tag an verschiedenen Plätzen und unter verschiedenen Gegebenheiten tauchen. Es ist daher die Aufgabe der österreichischen Tauchschulen, die Grundausbildung so zu gestalten, dass sie all diesen Anforderungen gerecht wird.

Die Zuverlässigkeit der Ausrüstungsgegenstände hat in den letzten Jahren einen hohen Grad erreicht. Mit Tauchcomputer, Finimeter zur Druckanzeige und Kompass haben Taucher heute ein Instrumentarium, welches allen Anforderungen gerecht wird. So lange ein „durchschnittlicher Taucher“ die Anzeigen seines Computers respektiert und im Notfall auf die „100-prozentige Reserve“ seines Tauchpartners zurückgreifen kann, wird er seine Tauchgänge mit einem hohen Maß an Sicherheit durchführen können.

Die Tauchgangsplanung ist eine einfache Routine geworden. Sie hilft dem Taucher abzuschätzen, wie lang er tauchen darf und mit welchem „Flaschendruck“ er aufsteigen muss, um mit seinem Partner den Tauchgang rechtzeitig und sicher beenden zu können.

Mikrobläschen sind heute bekannt und deshalb kein absolut unlösbares Rätsel mehr. Taucher haben gelernt, mit ihnen umzugehen. **Der Aufstieg kann „blasenarm“ gestaltet werden**, so dass von den restlichen Bläschen eine nur relativ geringe Gefährdung des Tauchers ausgeht.

Die Sicherheit eines Tauchers kann jedoch weiter gesteigert werden, wenn er selbst erkennt, ob er vom „durchschnittlichen Taucher“, den die Lehrbücher beschreiben, abweicht und wenn er weiß, wie er darauf reagieren muss.

Viele abwechslungsreiche Tauchgänge, klares Wasser und „Gut Luft“ wünscht

Helmut Zauchner

Ein Dank an alle Mitarbeiter

für die vielen praktischen Anregungen und geduldiges Lesen von Horst Flunger,
für die unverwechselbaren grafischen Ideen von Wolfgang Singer „Lofi“,
für die Unterstützung im Fachgebiet Tauchmedizin durch Saskia Huijsmans
und natürlich für die Fotos von Hannes Graf und „Model“ Nicole,
sogar Bilder von Brian Byrne und Andreas Weninger haben sich eingeschlichen.

Ein Dank geht an Wolfgang Klose, der viel Fachwissen zum Ausrüstungsteil beigesteuert hat.

Ein besonderer Dank geht an Wilfried Beuster, der meine holprigen Formulierungen mit viel Gefühl gerade gebogen und in vielen wesentlichen Teilen auf den Stand des heutigen Wissens gebracht hat.

Sie alle haben mit ihrer Hilfe dieses Ausbildungsskriptum ermöglicht

.... und noch eine Entschuldigung an alle „Leser und – Innen“, dass ich nicht alle „Taucher und – Innen“ mühevoll getrennt gewürdigt habe, wie es doch heute ach so gleichberechtigend modern ist ....

2. Sporttauchen in Österreich:

2.1. Warum will jemand tauchen lernen?

Ob man das Sporttauchen als Naturbeobachter oder Fotograf, als Tauchausbilder oder „nur“ als Tauchtourist betreibt, es soll in erster Linie Freude machen. Beim Tauchen ist man nicht unbedingt auf Atemgeräte angewiesen. Auch Schnorcheln, Unterwasser-Rugby, Apnoetauchen und andere Formen des „Freitauchens“ machen Spaß. Tauchen ermöglicht uns eine schwerelose Bewegung im dreidimensionalen Raum – wie bei einem kleinen „Weltraumspaziergang“.

Beim Tauchen bewegen wir uns in einem für uns „fremden“ Milieu. Es besteht daher grundsätzlich die Gefahr zu ertrinken. Unwissende oder leichtsinnige Taucher sind noch zusätzlich durch tauchspezifische Probleme gefährdet.

> Eine solide und möglichst umfassende Ausbildung ohne Zeitdruck ist somit die Grundlage für sicheres Tauchen.

2.2. Welche Besonderheiten gibt es im Bergland?

Österreich ist ein gebirgiges Land und seine Seen liegen über Meeresniveau, oft sogar in großen Höhen. Taucher müssen auf diese veränderten Gegebenheiten vorbereitet werden. Süßwasserseen sind auch im Sommer schon ab einer geringen Tiefe recht kalt und die Sicht unter Wasser ist durch Schwebeteilchen zum Teil stark eingeschränkt. UW-Fauna und -Flora unterscheiden sich grundsätzlich vom Meer und Strömungen, wie wir sie im Meer erleben, sind kaum zu erwarten.

Die Ausbildung im Süßwasser stellt hohe Anforderungen an den angehenden Taucher. Ein Taucher, der mit dem kalten, eher trüben Wasser unserer Alpenseen und den veränderten Dekompressionsvorschriften für Bergseen vertraut gemacht wurde, ist gut vorbereitet für andere Tauchgewässer.

2.3. Wo kann man tauchen lernen?

Es gibt eine Reihe von Tauchsportorganisationen welche Ausbildungskurse anbieten. Dazu kommt eine wachsende Zahl von kommerziellen Tauchschulen. In diversen **Tauchsportvereinen bekommen die Taucher nach ihrer abgeschlossenen Ausbildung** (auch ohne kommerziellen Hintergrund), die Unterstützung für ihre taucherischen Unternehmungen, welche sie sich wünschen.

Viele österreichische Tauchsportvereine sind der CMAS (Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques) angeschlossen. CMAS ist eine weltumspannende „non profit“ Organisation, die Ausbildungsstandards für Taucher festlegt.

CMAS-Brevets werden weltweit anerkannt.

In Österreich wird die CMAS durch den TSVÖ (Tauchsportverband Österreichs) vertreten. Der TSVÖ ist von der CMAS autorisiert, den Ausbildungsstandard für die einzelnen Ausbildungsstufen von Tauchern und Tauchlehrern festzulegen und stellt internationale Zertifikate (Brevets) aus.

TSVÖ-Tauchlehrer sind nach den Richtlinien der CMAS ausgebildet und garantieren in den Mitgliedsvereinen einen hohen Ausbildungsstand.

2.4. Anforderungen an Taucher:

Tauchen muss nicht unbedingt als Leistungssport verstanden werden. Tauchen kann auch von „Durchschnittsmenschen“ und sogar von körperlich Behinderten mit Erfolg erlernt werden. Auch das Alter spielt keine vorrangige Rolle. Ein Taucher muss jedoch in guter körperlicher Verfassung sein. Ein **tauchmedizinisch ausgebildeter Arzt** soll schon vor Beginn der Ausbildung nach einer gründlichen Untersuchung entscheiden, ob Herz, Kreislauf, Ohren und Atmungsorgane in Ordnung sind und keine anderen Gründe vorliegen, welche gegen die Ausübung des Tauchsports sprechen. Je vertrauter der angehende Taucher mit dem Wasser ist, desto leichter wird ihm die Ausbildung fallen.

Gegenüber anderen Wassersportarten erfordert die technische Natur des Tauchens auch Wissen über physikalische und physiologische Vorgänge, welche durch Druckänderungen bedingt sind. Die Belastungen eines Tauchers sind überwiegend mentaler Natur. Es wird aber auch körperliche Ausdauer und Geschicklichkeit im Bewegungsablauf verlangt. Dazu kommen Kenntnisse über Besonderheiten der Bewegung und der Atmung unter Wasser.

„Schnuppertauchen“ ist der einfachste Weg, um kennen zu lernen, ob Tauchen die „richtige“ Sportart für den Interessierten ist. Vorkenntnisse sind vielleicht hilfreich, aber nicht notwendig, um tauchen zu lernen. Die Motivation ist entscheidend. Beim Lernen und Üben hilft der Tauchlehrer.

2.5. Kursablauf:

Voraussetzung für die Teilnahme an einem Tauchkurs ist die **tauchmedizinische Untersuchung** des Kursteilnehmers.

Die **praktische Ausbildung** beginnt im Schwimmbad. Sie erfolgt zunächst ohne und in weiterer Folge mit Pressluftatemgerät. Sie wird entweder von Tauchlehrern oder von speziell ausgebildeten Übungsleitern durchgeführt. Dabei erwirbt der Tauchschüler die Sicherheit im Umgang mit der Tauchausrüstung und gewöhnt sich an die Bedingungen unter Wasser. Der Unterricht ist so gestaltet, dass Ausdauer, Geschicklichkeit und das Verhalten auch in „stressbelasteten Situationen“ geübt werden.

Parallel dazu erfolgt die **Theorieausbildung** im Lehrsaal. Tauchausrüstung, Tauchphysik & Physiologie, Tauchmedizin, sicheres Tauchverhalten und Gewässerschutz sind Schwerpunkte des Unterrichts. Ein **Erste Hilfe Kurs**, in dem die „lebensrettenden Sofortmaßnahmen“ besonders nach Tauchunfällen erlernt werden, vervollständigt die Ausbildung.

Der Tauchschüler lernt:

- welche Umstände seinen Aufenthalt unter Wasser beeinflussen
- welche Gefahren es für seine Gesundheit und die seiner Tauchpartner gibt, wie er sie erkennen und vermeiden kann.

- den sicheren und geordneten Ablauf seiner Tauchgänge selbst zu planen und zu gestalten.

Sobald der Tauchlehrer erkennt, dass die Erfordernisse für die praktische und die theoretische Prüfung erreicht sind, kann mit Tauchgängen im Freiwasser begonnen werden.

Nach bestandener theoretischer und praktischer Prüfung werden der TSVÖ-Taucherpass und das CMAS-Brevet ausgestellt, wozu zwei Passfotos erforderlich sind.

Mit dem CMAS Brevet* ist jeder Taucher befähigt, selbständig mit Partnern einer gleichen oder höheren Qualifikation Nullzeittauchgänge bis in 10 m Tiefe durchzuführen.

Im Anschluss an den Brevet* Kurs besteht die Möglichkeit zur Weiterbildung in Form von verschiedenen „Zusatzbrevets“, wie „Tauchen mit Kompass“, „Tauchen mit Trockentauchanzügen“, „Nitroxtauchen“ u.a.m.

2.6. Das Skriptum soll die Ausbildung begleiten:

Die Inhalte des Skriptums orientieren sich an den Vorgaben der CMAS. Sie sind jedoch auf österreichische Verhältnisse zugeschnitten. Für den angehenden Taucher ist es unbedingt erforderlich, dass er mit den Auswirkungen von physikalischen Gesetzen unter Wasser vertraut ist. Es ist auch wichtig, dass er lernt, welche Umstände seine Sicherheit beeinflussen können.

Dieses Skriptum ist Grundlage für die theoretische Prüfung, bei der die notwendigen Grundkenntnisse für diese Sportart abgefragt werden.

*

Das Skriptum soll den Taucher durch die Ausbildung begleiten. Es beginnt mit der notwendigen Ausrüstung für die Schnorchel- und Geräteausbildung, die anfänglich im Schwimmbad durchgeführt werden.

Begleitend wird die Tauchtheorie erarbeitet. Der Ablauf der sog. Dekompression hat nun in der Theorie der TSVÖ- Ausbildung neben der Tauchmedizin den Stellenwert bekommen, der ihr zur Unfallverhütung zukommt. Um die Tauchgangsplanung zu vereinfachen, wurde vom Verfasser der „TAUCHGANGSPLANER“ entwickelt, an dem sich der Verbrauch des Atemgases als „Druckverbrauch“ ablesen lässt.

Schnorchel- und Tauchübungen werden beschrieben und am Ende des Skriptums wird auf den Umweltschutz eingegangen.

Der frisch gebackene Brevet* Taucher kann dann beginnen, in Begleitung von Tauchpartnern mit „höherer“ Qualifikation (Gruppenführer = Brevet***) Taucherfahrung in langsam zunehmenden Tiefen bis max. 30 m zu sammeln.

Ab etwa 25 Freiwassertauchgängen ist es sinnvoll und möglich, mit der nächsten Ausbildungsstufe (Brevet**) zu beginnen.

Dieses Skriptum beinhaltet bereits den theoretischen Lehrstoff für die CMAS** Ausbildung!

3. Unter Wasser ist alles anders:

Sobald wir den Kopf ins Wasser stecken, sehen wir alles nur noch sehr undeutlich. Wir können nicht atmen und uns nur erschwert fortbewegen. Es umgibt uns eine Welt, für die wir nicht geschaffen worden sind.

Mit Maske, Schnorchel und Flossen („ABC-Ausrüstung“) wird die Unterwasserwelt plötzlich interessant, aber die Zeit, die wir unter Wasser verbringen können, ist stark eingeschränkt und meist auch mit Druckproblemen in den Ohren verbunden.

Unmittelbar nach dem Abtauchen spüren wir den zunehmenden Druck. Der Druck im Außenohr wird größer als der „Innendruck“ im Mittelohr – das Trommelfell verursacht stechende Schmerzen. Die knöcherne Begrenzung des Mittelohres lässt sich nicht zusammendrücken. **Das elastische Trommelfell wölbt sich mit zunehmender Wassertiefe immer weiter nach innen, bis es schließlich reißt.** Um dieser Schädigung vorzubeugen, ist es erforderlich, den Unterschied zwischen dem Umgebungsdruck und dem Druck im Mittelohr rechtzeitig auszugleichen.

⇒ **Druckausgleich:** Sobald man beim Abtauchen den Druck im Ohr spürt und **bevor es anfängt, weh zu tun**, drückt man die Nasenflügel zusammen und presst vorsichtig Luft in die Nase, bis es in beiden Ohren knackt. Auch Schluck- oder Gähnbewegungen können dies bewirken. Dabei strömt Luft durch die „Eustachische Röhre“ aus dem Rachenraum ins Mittelohr, wodurch sich das Trommelfell wieder entspannt. Beim Aufstieg zur Wasseroberfläche entweicht die Luft aus dem Mittelohr gewöhnlich von selbst wieder in den Rachenraum.

⇒ **Druckausgleich nicht erzwingen:** Wenn mit aller Kraft „gepresst“ werden muss, um einen Druckausgleich herbeizuführen, liegt oft eine Schleimhautschwellung im Nasen-Rachenbereich vor, die den Druckausgleich verhindert. Wird trotzdem abgetaucht, besteht die Gefahr einer Schädigung des Trommelfells. Auch eine dicht anliegende Kopfhaube des Tauchanzugs kann Druckunterschiede auf beiden Seiten des Trommelfells bewirken. **Dies kann zu Trommelfellverletzungen und dadurch zu Orientierungsverlust unter Wasser führen**.

⇒ **Ohrenstöpsel** sind für jegliches Abtauchen, ob mit oder ohne Gerät unzulässig und im höchsten Maße gefährlich, weil sie den Druckausgleich verhindern!

⇒ **Auf die Ohren achten**, Vorsicht vor Zugluft, Mütze aufsetzen, **bei Erkältung ist kein Druckausgleich und damit kein Tauchen möglich**.

*

Auch im Schwimmbad wird es unter Wasser nach einiger Zeit kalt. Für kälteempfindliche Taucher gibt es dünne Wärmeschutzanzüge, welche später in tropischen Gewässern getragen werden können. Gewöhnlich genügt auch ein gut anliegendes T-Shirt. Es verhindert, dass vom Körper aufgewärmtes Wasser wieder abfließt und hält dadurch den Körper warm.

In den Anfängen der Taucherei haben sich findige Taucher die Luft durch einen Schlauch in einen „Helm“ pumpen lassen, damit sie unter Wasser atmen konnten. Diese „Helmtaucher“ waren ziemlich unbeweglich. Es dauerte nicht lange und die ersten Sauerstoff- und Pressluft-tauchgeräte wurden erfunden, die eine freie und unabhängige Bewegung unter Wasser ermöglichten.

Mit jedem Meter Tiefe nimmt der Druck und damit die Auswirkung des ungewohnten Mediums „Wasser“ auf den menschlichen Körper zu. In der Vergangenheit gab es zahlreiche „unerklärbare“ Unfälle, wenn sich Taucher oder Arbeiter in Senkkästen („Caissons“) längere Zeit einem erhöhten Umgebungsdruck ausgesetzt hatten.

> Erst die Erkenntnisse der Tauchmedizin über die physiologischen Vorgänge im menschlichen Körper und die Fortschritte in der Technik haben zur Entwicklung von Tauchtabellen und Tauchcomputern geführt, mit welchen Sporttaucher heute relativ sichere Tauchgänge machen können.

Einer der wichtigsten Teile eines Tauchgangs ist die Gestaltung des Aufstiegs zurück zur Wasseroberfläche. Da der Wasserdruck im Lauf dieses Abschnitts immer weiter abnimmt, wird er als „Dekompression“ bezeichnet. Fast jedes Jahr gibt es neue Erkenntnisse über die physiologischen Vorgänge, die während der Dekompressionsphase ablaufen und berücksich-tigt werden müssen, weil sie zur Sicherheit der Taucher beitragen. Das vorliegende Skriptum will den heutigen Wissensstand (EUBS- Kongress 15. – 19. Sept. 2004) um eine sichere Dekompression in groben Zügen zusammen fassen. Dabei soll ausdrücklich darauf hingewie-sen werden, dass sich die Forschungsergebnisse nicht auf alle Atemgase beziehen, sondern nur auf Luft und sauerstoffangereicherte Luft (Nitrox).

> Für den angehenden Taucher ist es nicht entscheidend, dass er sich alle Details merkt. Wichtig erscheint, dass er die Zusammenhänge erkennen und verstehen kann.

Erst wenn ein Taucher verstanden hat, welche Auswirkungen sein Tauchverhalten auf seinen eigenen Körper hat, wird er auch die besonderen Regeln für Dekompression und Aufstieg beachten und anwenden.

4. Die Tauchausrüstung: Erweitert von Wolfgang Klose

Es waren lauter neugierige und erfindungsreiche Menschen, denen wir die Ausrüstung verdanken, mit der wir uns heute unter Wasser aufhalten und (in Grenzen) frei, bewegen können.

4.1. „ABC-Ausrüstung“ fürs Schwimmbad:

Tauchsporthändler sind daran interessiert, angehende Taucher beim Einkauf gut zu beraten. Die besten Erfahrungen macht man jedoch, indem man die Ausrüstungsteile bei praktischen Übungen selbst ausprobiert (und dann eventuell umtauschen kann…).

4.1.1. Bad- und Schnorchelflossen

Sie ermöglichen eine kraftsparende Fortbewegung und die Stabilisierung der Schwimmlage im und unter Wasser. Die Hände bleiben frei. Für Schwimmbad und Schnorcheln eignen sich am besten Flossen mit geschlossenem Fußteil, weil sie ein geringes Gewicht haben und die Fußgelenke schonen.

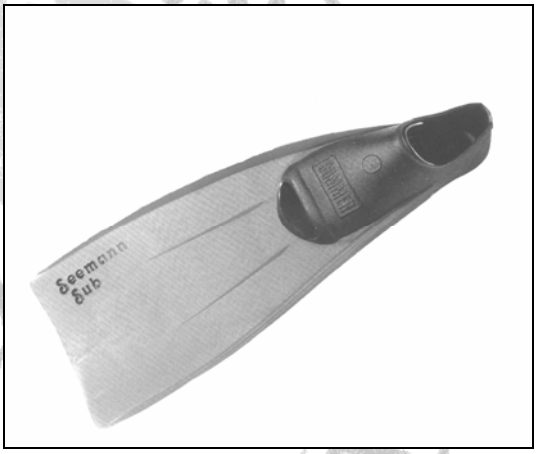


Foto 1: *Flossen*

Flossen sollten weich und geschmeidig am Fuß anliegen. Sie dürfen keine Druck- und Scheuerstellen erzeugen. Je breiter, länger und härter das Flossenblatt ist, desto mehr Kraft und besondere Schwimmtechnik benötigt der Flossenschwimmer. Wenn der Fußteil vor der Benutzung ins Wasser getaucht wird, kann man leichter hineinschlüpfen.

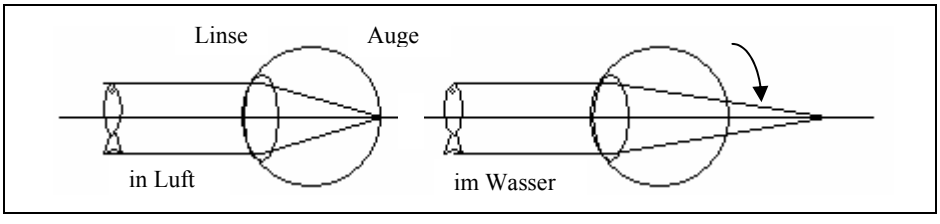
Dieser Flossentyp ist nicht für das Tauchen mit Gerät geeignet!

Pflegehinweis: Die Flossen sollten knickfrei, und nicht in der prallen Sonne gelagert werden.

4.1.2. Tauchermaske

Ohne Maske sehen wir unter Wasser unscharf, weil unsere Augen nicht an das Medium Wasser angepasst sind. Die Maske umschließt einen Luftraum vor den Augen, und schafft damit Verhältnisse, die für scharfes Sehen notwendig sind.

Kommt ein Lichtstrahl an die Grenzfläche zweier Medien mit unterschiedlicher Dichte wie Wasser/Luft oder Luft/Auge, so wird ein Teil von der Grenzfläche reflektiert, der andere gebrochen (umgelenkt). Bei einem normalsichtigen Auge wird das Licht gerade so weit „umgelenkt“, dass die Strahlen auf der Netzhaut ein scharfes Bild entstehen lassen (linkes Bild).



Lichtbrechung

Zwischen Wasser und Auge ist der Dichteunterschied wesentlich kleiner als zwischen Luft und Auge. Das Licht wird weniger stark gebrochen (umgelenkt), das scharfe Bild würde erst hinter der Netzhaut abgebildet werden, wie bei einem extrem weitsichtigen Auge (rechtes Bild). Wir sehen dadurch unscharf. Erst durch eine luftgefüllte Tauchermaske, wird uns ein scharfes Sehen unter Wasser ermöglicht.

Durch die verminderte Geschwindigkeit, mit der sich das Licht im Wasser (gegenüber Luft) ausbreitet, erscheinen unter Wasser alle Gegenstände um **¼ näher an der Maskenscheibe und daher größer**. In Wirklichkeit ist alles weiter weg, als man es sieht. Das Auge gewöhnt sich an die geänderten Verhältnisse.

Foto 2: *Tauchermaske*

Die Tauchermaske muss bequem und dicht sitzen. Bevor man eine Maske kauft, sollte man sie (ohne Maskenband) ans Gesicht halten und etwas Luft durch die Nase ansaugen. Wenn die Maske dadurch hält und nicht gleich wieder herunter fällt, ist sie dicht.

Treten auch keine Druckstellen auf, muss man als nächstes darauf achten, dass sie einen gut zugänglichen „Nasenerker“ hat. In einem kalten See werden dicke Neoprenhandschuhe getragen. Um den Druckausgleich herbei zu führen, müssen der Nasenerker problemlos erreicht und die Nasenflügel zusammengepresst werden können. Das „Druckausgleichmanöver“ sollte deshalb mit Handschuhen probiert werden.

Weitere Kriterien für die Auswahl der richtigen Maske sind ein möglichst großes Gesichtsfeld und ein kleiner Innenraum neben Scheiben aus Sicherheitsglas, eine doppelte Dichtlippe und ein stabiles und geteiltes Maskenband.

„Freitaucher“ (Apnoetaucher ohne Pressluft-Tauchgerät) bevorzugen ein kleines Maskenvolumen, damit sie für den Druckausgleich in der Maske im Zuge des Abtauchens weniger Luft benötigen. Mit zunehmendem Umgebungsdruck wird der Maskenkörper immer stärker ans Gesicht gepresst. Der Druck außerhalb der Maske steigt während des Abtauchens schnell an, so dass innerhalb der Maske ein Unterdruck (Sogwirkung) auf die Augen entsteht. Atmet man beim Abstieg rechtzeitig und „sparsam“ durch die Nase in die Maske aus, so wird sie belüftet und damit der Druckausgleich herbei geführt.

„Schwimmbrillen“ (ohne Nasenerker) sind für das Tauchen absolut ungeeignet, da sie keinen Druckausgleich im Luftraum der Brille ermöglichen und Schädigungen der Augen durch den starken Sogeffekt beim Abtauchen hervorrufen können.

Silikonmasken sind gewöhnlich leichter, haltbarer und hautverträglicher als Masken aus Gummi, welche zudem im Handel kaum noch anzutreffen sind. Für Brillenträger gibt es auch Modelle mit optischen Gläsern, welche individuell angepasst werden können.

Ein vor dem Tauchen, auf die trockene Innenfläche der Scheibe, aufgetragener und wieder abgespülter, dünner Speichelfilm und ein nasses Gesicht verhindern, dass die Maske beim Tauchen beschlägt. Ein mit kaltem Wasser benetztes Gesicht leitet offensichtlich auch den richtigen Atemrhythmus sowie Kreislaufanpassung an das neue Medium ein (Tauchreflex).

Wenn die Tauchermaske voll Wasser läuft... („Ausblasen“ der Maske):

- Maske leicht an die Stirn drücken, damit nach oben keine Luft entweichen kann
- Schräg nach oben in Richtung zur Wasseroberfläche schauen, damit sich das eingeschlossene Wasser am unteren Maskenrand sammeln kann
- Zunge an den Gaumen legen (damit der Luftweg zum Mund versperrt wird) und gleichmäßig und „sparsam“ durch die Nase in die Maske ausatmen
- dabei beobachten, ob die Luft das Wasser auch vollständig nach unten verdrängt
- Nimm dir Zeit – das „Ausblasen“ anfangs nicht in einem Zug erzwingen

4.1.3. Schnorchel:

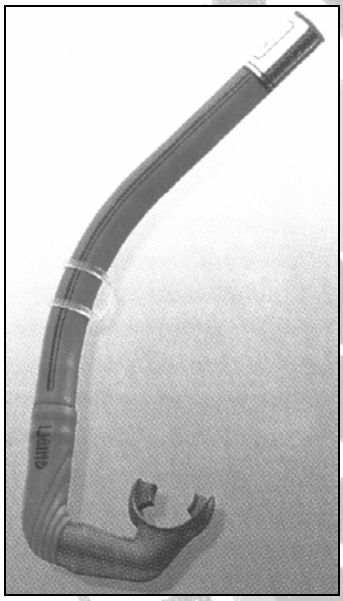


Foto 3: *Schnorchel*

Der Schnorchel ermöglicht beim Schwimmen an der Wasseroberfläche die Atmung, während man den Grund des Gewässers durch die Maske beobachtet.

Wenn man ohne Schnorchel bei starkem Regen, Wind oder Wellen schwimmt, kann Wasser in die Atemwege gelangen und zu erheblichen Schwierigkeiten führen. Dringt Wasser in den Schnorchel ein, wird es mit einem kräftigen Luftstoß problemlos wieder hinaus geblasen.

Beim Kauf eines Schnorchels soll man daran denken, dass man ihn auch beim Tauchen mit Gerät mitnehmen muss. Je nach Bauart sind Schnorchel mit Ventilen ausgestattet, die das Ausblasen erleichtern. Diese Schnorchel sind jedoch voluminös und zum Mitnehmen beim Tauchen eher hinderlich. Außerdem kommt es häufig zu Problemen mit den Ventilmembranen, welche leicht beschädigt werden. Der Schnorchel kann dann nicht mehr verwendet werden.

Das Rohr des Schnorchels soll eine glatte Innenwand haben, damit die Luft leichter strömt und beim Ausblasen kein Wasser zurückgehalten wird. Das Mundstück sollte angenehm und druckfrei im Mund liegen und über feste „Beißwarzen“ verfügen. Manche Schnorchel sind zusammenroll- oder klappbar, damit sie in die Jacketttasche hinein passen. Oft wird der Schnorchel auch am Maskenband befestigt, oder darunter geschoben. Das kann jedoch schnell zu Druckschmerzen im Schläfenbereich führen. In der Regel wird der Schnorchel auf der linken Maskenseite fixiert, da der Atemregler überwiegend von rechts zum Mund geführt wird. Einzelne Taucher stecken den Schnorchel zu ihrem Tauchermesser, wenn es am Unterschenkel befestigt wird. Inzwischen gibt es eigene Schnorchelhalter. Der Schnorchel behindert nicht mehr und ist trotzdem einsatzbereit.

Das Ende des Schnorchelrohres wird oft mit einer gut sichtbaren Signalfarbe markiert, damit ein Taucher von anderen Wassersportlern rechtzeitig gesehen wird.

Taucher mit großem Lungenvolumen verwenden Schnorchel mit großem Durchmesser, während für Kinder nur kleine Durchmesser geeignet sind. Je größer der Durchmesser, desto geringer ist der Atemwiderstand, um so schwieriger wird es, den Schnorchel auszublasen.

Je länger und dünner der Schnorchel, desto größer wird die „Atemarbeit“!

Pendelatmung: die nach dem Ausatmen im Schnorchel stehende Luft wird beim nächsten Atemzug wieder eingeatmet. Diese „Pendelluft“ ist sauerstoffarm und hat einen erhöhten CO_2-Gehalt. Aus diesem Grund ist es notwendig, beim Schnorcheln tief durchzuatmen. Wird nur flach geatmet, ist der Anteil an Pendelluft groß und der Taucher kann Kopfschmerzen bekommen.

4.2. Ausrüstung zum „Gerätetauchen“:

4.2.1. Presslufttauchgerät (PTG):

Zum Tauchen werden Stahlflaschen mit einem Volumen von 0,4 bis 20 Litern erzeugt. Die meistverwendeten Flaschen haben 10, 12 und 15 Liter. Sie werden oft mit besonderen „Montagebrücken“ zu Doppelgeräten zusammengebaut, damit Taucher über einen größeren Luftvorrat verfügen. Für extreme Tauchvorhaben, große Tiefe, lange Grundzeiten, Höhlentauchen etc. gibt es auch aufwändige Mehrflaschenkonstruktionen.

PTG’s haben gewöhnlich einen Standfuß, damit sie sicher stehen können und oftmals ein Netz, welches vor Scheuerschäden schützt. Sie müssen innen blank (= metallisch rein) sein, weil eine Lackierung oder Beschichtung die Druckluft verunreinigen würde. Im Meer haben sich daher Aluminiumflaschen bewährt, weil die Oxydationsprobleme geringer sind als bei Stahlflaschen.

Im „warmen“ Meer werden durchwegs Flaschen mit einem einzigen Ventil verwendet. Für die Verwendung im Kaltwasser sollte eine Tauchflasche wegen der „Vereisungsgefahr“ grundsätzlich zwei getrennte Ventile (Doppelventil) für den Anschluss von zwei unabhängigen Atemreglern (Lungenautomaten) haben. Beim Kauf der Flasche oder wenn eine Flasche ausgeliehen wird, müssen beide Automaten montiert werden, um zu überprüfen, ob die Abstände der Ventile groß genug sind.

Damit das PTG am Rücken getragen werden kann, wird es an einem Tragegestell oder einem Tarierjacket befestigt.

Die meisten Tauchflaschen sind für einen Nenn- oder Betriebsdruck von 200 bar (evtl. auch 300 bar) ausgelegt. Der Nenndruck wird von Tauchern oft auch als Füll- oder Füllungsdruck bezeichnet. Tauchflaschen müssen jedoch **auf einen höheren Druck als 200 bar gefüllt werden**, weil sie beim Füllen warm werden und der Druck beim Abkühlen wieder abnimmt.

Einzelne alte Geräte haben noch Ventile mit einer „Reserveschaltung“ welche man am „Reservehebel“ erkennt. Wenn der Flaschendruck auf 40 bar absinkt, nimmt der Atemwiderstand aufgrund eines besonderen Ventils zu. Wenn der Taucher merkte, dass das Atmen immer schwerer wurde, musste er den „Reservehebel ziehen“. Er konnte wieder normal atmen, musste jedoch den Aufstieg beginnen. **Heute werden diese Reserveschaltungen nicht mehr benützt, weil Taucher den Flaschendruck am „Finimeter“ ablesen können**. Der Reservehebel bleibt bei Verwendung von Geräten mit Reserveschaltung permanent „gezogen“ (= unten) und die „Reservestange“ wird entfernt.

Ein Flaschenventil darf nur mit mäßiger Kraft zugedreht werden, damit der Dichtsitz nicht zu stark gepresst wird. Lässt sich ein Flaschenventil nur noch mit großer Kraft schließen, bzw. drehen, muss es zur Instandsetzung in eine Fachwerkstatt gebracht werden.

4.2.2. Kennzeichnung und Prüfung:

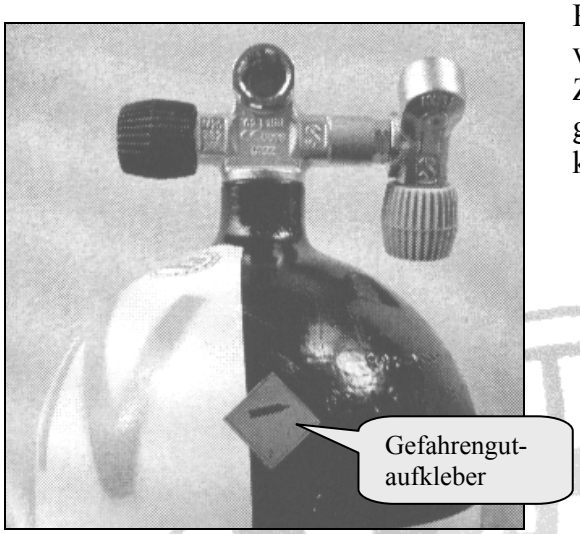


Foto 4: *Pressluftflasche mit 2 Ventilen*

PTG haben auf ihrer „Schulter“ vom Hersteller verschiedene Angaben eingepresst, welche für die Zulassung als Tauchgerät erforderlich sind, aber gewöhnlich nur von Fachleuten „gelesen“ werden können.

- **Österreichische Vorschriften für die Kennzeichnung (Stand 2004)**:

1. Hersteller, Identifikationsnummer, technische Abnahmebehörde, CE Zulassungsnummer
2. Baujahr, Gewicht, Flaschenvolumen, Nenndruck, Prüfdruck, Hinweis auf Atemluftgebrauch
3. Sicherheitskennfarbe (weiß für Sauerstoff, schwarz für Stickstoff) „geviertelt“ auf der Flaschenschulter, Gefahrengutaufkleber (= schwarze Flasche auf grünem Untergrund) sichtbar platziert.

Die Druckfestigkeit einer Tauchflasche muss periodisch vom TÜV oder einem anderen autorisierten Unternehmen überprüft werden. Die vorgeschriebenen Prüffristen und die Vorschriften für die Kennzeichnung müssen beachtet werden.

- **Österreichische Vorschriften für die Druckprüfung (Stand 2004):**

1. Im 4. Jahr nach der Herstellung, bzw. nach der letzten Druckprüfung muss eine Sichtprüfung innen und außen durchgeführt werden.
2. Im 7. Jahr wird die Sichtprüfung wiederholt.
3. Im 10. Jahr wird eine neue Sicht- und Druckprüfung durchgeführt.
4. Auf der Flaschenschulter werden Prüfdatum und Prüfstempel des autorisierten Unternehmens eingeschlagen.

Zur **Drückprüfung** wird das PTG **mit Wasser gefüllt** und auf den angegebenen Prüfdruck gebracht. Sollte ein PTG dem Druck nicht standhalten, würde es ohne Folgen bersten, weil sich Wasser nicht zusammendrücken lässt.

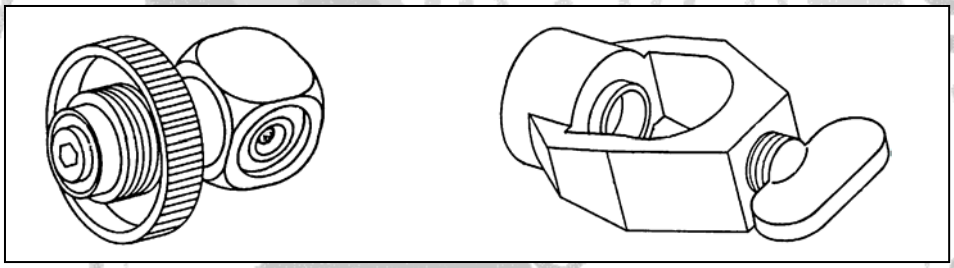
Bei einer Prüfung mit Druckluft, käme es beim Bersten des PTG zu einer Katastrophe, weil explosionsartig eine große Luftmenge austreten würde.

Der Prüfdruck einer Tauchflasche ist stets 50 % höher als ihr Nenn- oder Betriebsdruck. Der Berstdruck ist doppelt so hoch. Wenn der Druck einer vollen Flasche steigt, will sie in der Sonne liegt, ist bei einer geprüften Flasche die Sicherheit gegen Bersten immer noch gegeben.

- **Ein PTG mit abgelaufenem Prüfdatum darf nicht gefüllt werden!**
- Ein PTG wird **mit trockener und geruchloser Luft gefüllt!** Ein PTG darf nicht vollständig entleert werden, weil j**ede Füllstelle verpflichtet ist, eine drucklose Flasche zu öffnen,** um zu überprüfen, ob Wasser eingedrungen ist und sich Rost gebildet hat.
- Ein PTG wird **nur stehend gelagert**. Dabei muss es gegen Umfallen gesichert werden.

Transport von Tauchflaschen: Im Auto muss jeder „Druckgasbehälter" durch eine geeignete Befestigungsvorrichtung **gegen Verrutschen gesichert transportiert** werden. Oft wird die Lagerung quer zur Fahrtrichtung bevorzugt, weil man annimmt, dass das Ventil so am besten geschützt sei. An den Flaschen müssen Gefahrengutaufkleber angebracht werden.

Ventile mit genormtem **„deutschem" Schraubanschluss** (DIN) erhöhen die Lebensdauer der Dichtungsringe (O-Ringe) gegenüber den **„internationalen" Klemmbügelanschlüssen** (INT), welche nicht genormt sind und daher unterschiedlich weite Bügel haben können. Wenn der Atemregler nicht zum Flaschenventil passt, gibt es verschiedene **„Adapter"**.



Adapter

Die Flasche ist „voll", wenn ihr **Nenndruck (Fülldruck)** z.B. 200 bar erreicht ist. 2000 Liter Luft (mit dem Druck von 1 bar) werden mit einem Atemluftkompressor in eine 10 Liter Flasche gepresst.

$$"Entspanntes\ Luftvolumen" = \frac{Volumen * Flaschendruck}{Umgebungsdruck} = \frac{10\,l * 200\,bar}{1\,bar} = 2000\,l$$

Stellt man sich zur Messung des Flaschendrucks „hinter" das Tauchgerät, dann befindet sich das Handrad des ersten Ventils **rechts** (Rechtshänder) und die Ventilöffnung zeigt nach vorn – sog. „**Gebrauchslage**".

Vorsicht: Immer, wenn am Gerät nicht manipuliert wird, soll es hingelegt werden, damit es nicht umfallen kann. Schlägt ein Tauchgerät mit dem Ventil oder dem Atemregler auf, können Schäden auftreten. Wenn das Gas mit hohem Druck (200 bar ≈ 200 kg/cm^2) durch beschädigte Ventile austritt, besteht durch umherwirbelnde Automatenteile oder die Flasche selbst eine erhebliche Verletzungsgefahr.

4.2.3. Jacket:

Es dient zum Tragen der Flasche, zum Schwimmen an der Oberfläche, zum Herstellen des Schwebezustandes („Tarieren“) in jeder Tiefe unter Wasser, aber auch zum schnellen Erreichen der Oberfläche in einer Notlage, als Rettungshilfe für andere Taucher und als Bergehilfe beim Transport von schweren Gegenständen.

Wird ein Jacket gekauft oder ausgeliehen, muss man prüfen, ob die Gurte passen und die Flasche gut am Rücken fixiert werden kann. Der Inflator soll mit Daumen und Zeigefinger problemlos bedient werden können, auch wenn Handschuhe getragen werden.

Nur wenn das Volumen groß genug ist (ab ca 18 *l*) ermöglicht es auch in größeren Tiefen einen ausreichenden Auftrieb. Das Jacket kann über ein Mundstück oder auf Knopfdruck mit dem „Inflator“ aufgeblasen werden.

Damit man einen zu schnellen Aufstieg im Notfall abbremsen kann, muss jedes Jacket mit einer Einrichtung ausgestattet sein, mit der die Luft rasch abgelassen werden kann. Dieses **„Schnellstopp-Ventil“,** muss bequem erreicht werden können und sicher funktionieren. Während der Inflator links am Jacket angebracht ist, sitzt das Schnellstopp-Ventil **rechts**.

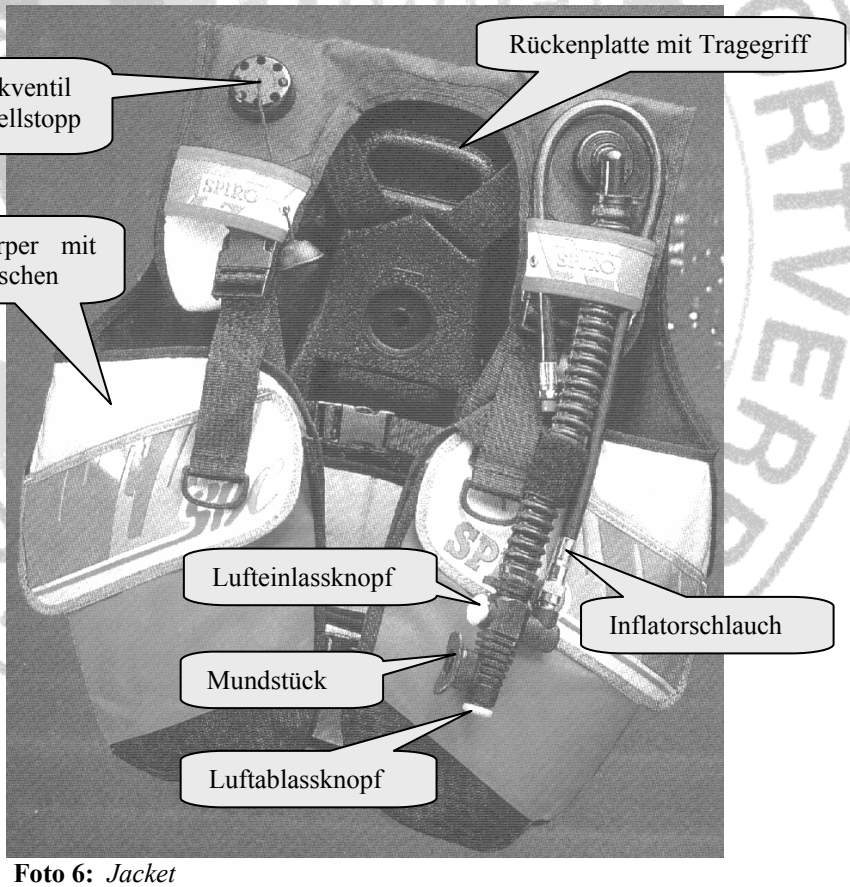


Foto 6: *Jacket*

Die meisten Jackets haben große Taschen für die Aufnahme von Kleinteilen (Schnorchel, Tabellen und anderes mehr). Da der Bleigürtel eine Belastung für die Wirbelsäule darstellt, wurden **„bleiintegrierte“ Jackets** entwickelt. Anstatt die Gewichte nur auf dem Gurt zu tragen, werden sie in eigenen Taschen des Jackets befestigt. Dadurch wird das Gesamtgewicht besser verteilt. Im Notfall können diese Gewichte auch abgeworfen werden.

Es gibt verschiedene Typen von Auftriebs- und Tarierhilfen:

- Vereinzelt werden für das Tarieren noch **„Kragenwesten“** verwendet, welche wie „Rettungswesten“ getragen und mit Bänderungen um die Hüfte und im Schritt befestigt werden. Bei Verwendung dieser Auftriebshilfe wird das PTG auf ein eigenes Tragegestell montiert und am Rücken getragen. Der Vorteil ist die stabile und **absolut ohnmachtsichere Position**, auch bei schwerer See, wenn der Taucher in Rückenlage an der Oberfläche schwimmt. Ansonsten ist diese Tarierhilfe eher als unbequem zu bezeichnen.

- Das **ADV (adjustable) Jacket** (wie oben abgebildet) wird auch in bleiintegrierter Ausführung gefertigt und besteht im Wesentlichen aus folgenden Bauteilen:

  1. Westenkörper mit Taschen (eventuell auch integrierte Bleieinschubtaschen)
  2. PTG-Tragegestell
  3. Faltenschlauch mit Inflator und Mundstück
  4. Ein- oder mehrere Auslassventile (Schnellstopp)
  5. Überdruckventil
  6. Stabile, verstellbare Vergurtung mit sog. „D-Ringen“ zum Anhängen von Ausrüstungsteilen

  Das Jacket hat eine **umlaufende Luftkammer**, wird wie ein Rucksack getragen und hält den Taucher an der Oberfläche in einer stabilen Lage (nicht ohnmachtsicher!!!). Dreht sich der Taucher auf die Seite, so schwappt die Luft von einer Seite der Luftkammer auf die andere. Die Schwimmlage ist durch die rasch wandernde Luft nicht immer stabil und teilweise unbefriedigend.

- Das **Stabilizing-Jacket** versucht diesen Nachteil zu vermeiden. Es ist wie eine Weste gefertigt, wobei die Arme durch den Westenkörper gesteckt werden. Das Luftkammersystem besteht aus drei **luftgefüllten Ringen,** mit jeweils einem um die Arme herum und einem Ring im Rückenbereich den Seiten des PTG entlang, welche miteinander durch Luftkanäle verbunden sind. Bedingt durch die langsam zirkulierende Luft in den Kammern ist auch bei Körperdrehungen eine stabile Schwimmlage gewährleistet. Nachteilig ist das verzögerte Schnellentlüften der Kammern. Der restliche Aufbau gleicht dem ADV- Jacket. Dieses Jacket ist durch den Auftrieb der luftgefüllten Ringe im Oberarmbereich bedingt ohnmachtsicher.

- Das **technische Jacket** hat nur im Rückenbereich eine Luftblase und ist insgesamt mit einer starken Vergurtung und Befestigungsringen ausgestattet, um daran andere Ausrüstungsteile, wie z.B. „Ponyflaschen“ oder Lampen zu befestigen. Das Tauchen ist mit diesem Jacket ideal, da die mitgeführte Luft immer im Rückenbereich bleibt und im Frontbereich größte Bewegungsfreiheit gewährleistet ist. Der Aufenthalt an der Oberfläche ist erheblich erschwert, da jetzt der gefüllte Luftkörper im Rücken zur ungewollten Bauchlage zwingt.

Jackets werden über einen Inflator, welcher an einem sog. „Mitteldruckschlauch“ am Atemregler angeschlossen ist, mit Luft versorgt. Jackets können auch durch das Mundstück aufgeblasen werden (oral tarieren). Anstatt des Inflators werden an den Faltenschlauch manchmal besondere „Ersatzlungenautomaten“ (AIR 2) montiert.

Die im Jacket vorhandene Luft kann über Ventile (Schnellstopp) abgelassen werden. Um das Bersten des Luftkörpers zu vermeiden, sind die Jackets mit einem Überdruckventil ausgestattet. Die Farbe des Jackets sollte eine Signalfarbe sein, damit der Taucher sowohl über als auch unter Wasser besser gesehen werden kann. Die meisten Hersteller liefern jedoch nur schwarze Jackets mit Leuchtstreifen.

Hinweis: Jackets müssen regelmäßig gewartet werden. Nach Gebrauch sollen sie im sauberen Süßwasser gereinigt, getrocknet und an einem schattigen, gut belüfteten Ort, am besten hängend und leicht aufgeblasen, gelagert werden. Das in den Auftriebskörper eingedrungene Wasser muss nach jedem Tauchgang über ein Ablassventil entleert werden. Eine Desinfizierung der Luftblase ist nicht erforderlich, da ihr Luftinhalt nicht eingeatmet werden sollte.

4.2.4. Bleigürtel:

Trägt ein Taucher einen Wärmeschutzanzug, muss er den Auftrieb des Anzuges mit Bleigewichten ausgleichen, um überhaupt abtauchen zu können. Das Anlegen des Bleigurtes sollte immer auf die gleiche Art und Weise erfolgen. Der Bleigurt muss so angelegt werden, dass er sich nicht an anderen Ausrüstungsteilen verfangen kann, wenn er abgeworfen werden muss. Deshalb muss auch das Ende des Gurts frei hängen. Die sog. „Schnellabwurfschnalle“ des Gürtels muss gut erreichbar sein, damit sie im Notfall sofort geöffnet werden kann.

Um zu verhindern, dass sich Bleigewichte verschieben oder vom offenen Gurt herunter rutschen, sichert man sie am besten mit **Bleistoppern**. Es gibt auch **Bleigurte mit eingebauten Taschen** in welche man „Softblei“ (Säckchen mit Bleischrot) einlegen kann. Es gibt auch **Trägersysteme,** wenn größere Mengen an Blei benötigt werden. **Kautschukgurte** verhindern das lästige Rutschen und Verdrehen des Gurtes auf der Hüfte und halten die Bleigewichte auch ohne Bleistopper in ihrer Position.

4.2.5. Atemregler mit Finimeter und Inflatorschlauch:

Taucher können nur atmen, wenn das Atemgas mit dem jeweiligen Umgebungsdruck entsprechend der Tauchtiefe zugeführt wird. Da sich sowohl Flaschendruck, als auch Umgebungsdruck während des Tauchgangs laufend ändern und der Atemwiderstand klein bleiben soll, sind die Anforderungen an die Eigenschaften des Reglers so groß, dass die Druckregelung in 2 Stufen erfolgen muss. In **2 Regelstufen** kann der Druck der Atemluft sehr genau an den Umgebungsdruck angeglichen werden.

Kernstück einer Regeleinrichtung ist die **Membrane**, welche den **Luftdruck im Reglergehäuse mit dem jeweiligen Wasserdruck vergleicht.** Auf der einen Seite der Membrane liegt die Luft an, auf der anderen Seite befindet sich das Wasser. Sobald eine **Druckdifferenz** auftritt, wird die Membrane „durchgebogen“ und somit eine **Stellkraft** erzeugt, welche wiederum das Ventil bewegt. Ist der Druck im Reglergehäuse kleiner als der Wasserdruck, weil der Taucher beim Einatmen die Luft heraussaugt, wird die Membrane nach innen gebogen und das Ventil geöffnet. Ist er größer, weil der Taucher ausatmet, macht das Ventil wieder zu.

Eine Membrane mit 6 cm Durchmesser hat eine Fläche von etwa 30 cm^2 . Wenn die Tiefe nur um 10 cm verändert wird (10 cm entspricht 0,01 bar Druckänderung), erzeugt sie eine

„Stellkraft“ von F ≈ 0,01 kg/cm^2 x 30 cm^2 ≈ 0,3 kg, welche das Ventil mühelos öffnet oder schließt.

Das Wesen der **Regelung** des Drucks (Unterschied zur „Steuerung“ der Luftzufuhr) ist die **„Wirkungsumkehr“.** Ist der Druck zu groß, wird die Luftzufuhr gedrosselt, ist er zu gering, wird mehr Luft zugeführt. Durch die Regelung wird der Luftdruck an den Umgebungsdruck angeglichen. Sobald der Ausgleich erfolgt ist, herrscht auf beiden Seiten der Membrane Druckgleichgewicht und die Membrane befindet sich wieder in ihrer Ruhestellung.

Der höchste Eingangsdruck eines Atemreglers beträgt 200 bar, kann aber bei vielen Typen nach entsprechenden Umbaumaßnahmen, auf 300 bar erhöht werden. Wenn die Hochdruckstufe nicht für Pressluft, sondern für andere Atemgase verwendet werden soll, muss sie ebenfalls umgerüstet werden.

Moderne Atemregler bestehen aus einer **Hochdruck-** und einer **Niederdruckstufe**, die durch den **Mitteldruckschlauch** verbunden sind. Die **1. Stufe** ist die **Hochdruckstufe** und sitzt direkt am Flaschenventil. Sie vermindert den Flaschendruck auf einen sog. „Mitteldruck“ von 7 – 15 bar über dem jeweiligen Umgebungsdruck (Druck in der jeweiligen Tauchtiefe).

Je nach Bauform des Hochdruck- Regelventils wird die 1. Stufe als kolben- oder membrangesteuert bezeichnet. Wenn der Druck im Reglergehäuse nicht mit dem Wasserdruck, sondern nur mit einem gleichbleibenden „Federdruck“ verglichen wird, kann der Luftdruck nur an diesen Federdruck angeglichen werden und der Druck im Mitteldruckschlauch bleibt unabhängig von der Tiefe weitgehend konstant. Mit ansteigender Tiefe wird der Unterschied zwischen Mittel- und Umgebungsdruck immer kleiner und die Atmung schwerer.

Wenn auf der zweiten Seite der Membrane **sowohl Feder- als auch Wasserdruck** wirken, steigt die Stellkraft und damit der Ausgangsdruck auf die Summe beider Drücke. Der „Mitteldruck“ steigt und fällt mit der Tauchtiefe. Solche Stufen sind heute allgemein üblich und werden als „kompensiert“ bezeichnet. Der Druckunterschied wird in der Tiefe größer und die Atmung dadurch komfortabler.

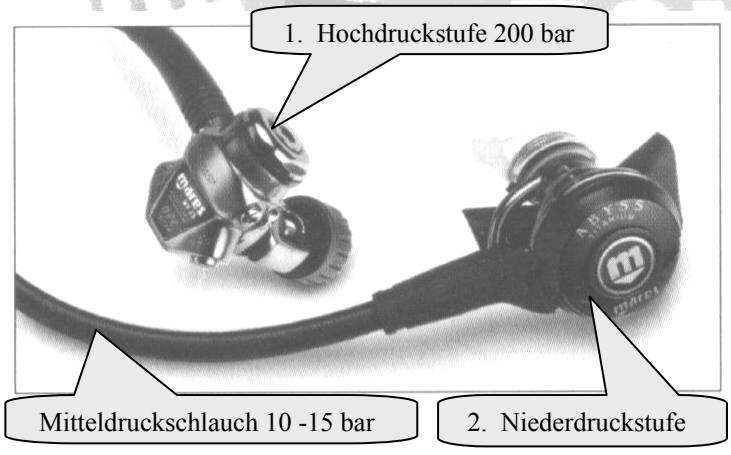


Foto 7: *Atemregler*

Die **2. Stufe** ist die **Niederdruckstufe**. Sie reduziert den Mitteldruck weiter auf den Umgebungsdruck, so dass insgesamt eine zweifache Druckregelung erfolgt. Es kann in jeder Tiefe komfortabel geatmet werden, weil der Atemregler dem Taucher das Atemgas entsprechend dem jeweiligen Umgebungsdruck liefert.

Mit dem „Duschknopf“ wird die Membrane der 2. Stufe eingedrückt und dadurch das Ventil der 2. Stufe geöffnet.

Man kann damit das Wasser aus dem Mundstück blasen oder einen Hebesack, eine Boje oder Ähnliches mit Luft füllen.

Wenn die 1. Stufe des Reglers so montiert wird, dass der **Mitteldruckschlauch nach rechts** zeigt, wird auch das Mundstück von rechts zum Mund geführt. Der sog. „Blasenabweiser" befindet sich „unten" und verhindert, dass die Ausatemluft vor der Maske aufsteigt.

> Atemregler werden so montiert, dass sie von rechts zum Mund geführt werden. Es gibt aber auch Modelle die von beiden Seiten verwendet werden können.

Wenn ein beidseitig verwendbarer Regler mit einem verlängerten Mitteldruckschlauch ausgerüstet ist, wird die Versorgung des Partners bei Luftmangel vereinfacht.

Foto 8: *HP – Anschluss*

Vom Hochdruckteil der 1. Stufe führt ein Schlauch zu einer Druckanzeige, dem sog. „Finimeter". Dieses Finimeter ist an einem „High Pressure" (HP) Ausgang montiert. Das bedeutet, dass im Schlauch der gleiche Druck wie in der Flasche herrscht (also bis zu 200 bar) und man am Finimeter den Flaschendruck ablesen kann. An einem zusätzlichen Mitteldruckanschluss sitzt der Inflatorschlauch für das Jacket. Im „Mitteldruck-bereich" herrscht ein Druck von 7 – 15 bar über dem jeweiligen Umgebungsdruck.

Vorsicht bei der Montage von zusätzlichen Geräten, wie z. B. Zweitautomaten (Oktopus): Viele Lungenautomaten haben für die Anschlüsse von Hoch- und Mitteldruck noch gleiche Gewinde. Die Anschlüsse dürfen **nicht verwechselt** werden!

> Es wird daher empfohlen, Umbauten, Wartungsarbeiten und Reparaturen grundsätzlich von Fachwerkstätten (Fachhandel) ausführen zu lassen.

Bevor ein Regler montiert wird, muss sichergestellt werden, dass die Ventilöffnung der Flasche sauber und trocken ist. Wenn sich Wasser im Ventilausgang befindet, wird es beim Öffnen in den Atemregler gedrückt und kann bewirken, dass der Regler später vereist.

Der Regler darf am Flaschenventil nie zu fest angeschraubt werden! 2 Finger genügen zum Festziehen. Die Abdichtung des Systems erfolgt nicht durch kraftvolles „Anschrauben", sondern durch den O-Ring und der wird vom Luftdruck mit 200 kg/cm^2 angepresst.

> Bevor man einen Regler wieder abnehmen kann, muss er durch Drücken des Duschknopfes der 2. Stufe „entlüftet" werden.

Anwendung und Pflege:

- Vor der Montage der 1. Stufe auf das Flaschenventil muss unbedingt darauf geachtet werden, dass die Ventilöffnung innen sauber und trocken ist. Das Flaschenventil wird vor der Montage des Reglers leicht geöffnet um evtl. eingedrungenes Wasser oder Schmutz heraus zu blasen.
- Bei DIN-Reglern darf das Rändelrad nur mäßig angezogen werden (nie mit Gewalt!!! zum Anschrauben genügen 2 Finger).
- Die Schläuche müssen vor mechanischer Verletzung (Knickschutz) und vor intensiver Sonneneinstrahlung geschützt werden.
- Nach dem Gebrauch wird das Ventil geschlossen und der verbleibende Druck durch die Luftdusche entspannt. Erst dann kann das Rändelrad gelöst und der Regler vom Flaschenventil genommen werden.
- Die Verschlusskappe darf nur sauber und trocken auf den DIN- bzw. INT-Anschluss aufgesetzt werden.
- Atemregler werden trocken, kühl, dunkel und in knickfreiem Zustand gelagert.

Beim Reinigen des Atemreglers in sauberem Süßwasser muss unbedingt darauf geachtet werden, dass kein Wasser in den Anschluss der 1. Stufe eindringen kann. Die 2. Stufe sollte möglichst nur unter Druck (d. h. bei auf die Flasche montiertem Automaten) gereinigt werden. Wenn dies nicht möglich ist, darf während des Spülens die Luftdusche nicht betätigt werden, da sonst über das Ventil Wasser in die Mitteldruckschläuche eindringen kann.

Finí kommt aus dem Französischen und heißt fertig / zu Ende. Man kann den Flaschendruck am Finimeter ablesen, oder auch den Druck, mit dem man (spätestens) den Aufstieg beginnen muss. Der Bereich unter 50 bar ist meist rot markiert, damit der Taucher seinen Aufstieg rechtzeitig beginnt.

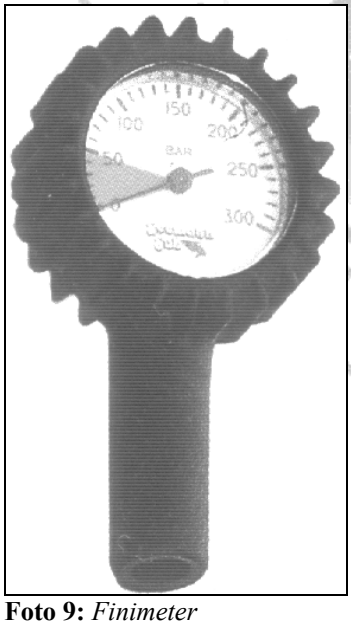


Foto 9: *Finimeter*

Ein Taucher mit einem „durchschnittlichen“ Luftverbrauch muss nach einem Nullzeittauchgang den „tiefen Sicherheitsstopp“ mit 60 bar erreicht haben, denn er braucht für den „standardisierten Aufstieg“ zur Oberfläche ungefähr 20 bar. Etwa 40 bar sollten dann als „Reserve“ übrig bleiben.

Das Finimeter macht es möglich, den Flaschendruck des Partners mit dem eigenen Flaschendruck zu vergleichen, um zu erkennen, ob der Partner mehr oder weniger Luft braucht. Mit dem Rückzug soll grundsätzlich begonnen werden, sobald ein Taucher in der Gruppe den halben Nenndruck (100 bar) erreicht hat.

Der HP-Schlauch selbst hat in der Verschraubung an die 1. Stufe eine Drossel (winzige Bohrung), welche bei einem Schlauchriss verhindert, dass der Schlauch umher „peitscht“ und ein hoher Luftverlust entsteht. (Durchflussmenge – 30 l/Minute). Finimeter werden oft in einer Konsole in Verbindung mit Computer und Kompass untergebracht. Um ein Durchhängen einer solchen Konsole zu verhindern, befestigt man diese mit einem Konsolenhalter körpernah an einem D-Ring des Jackets.

4.3. Tauchausrüstung für das Freiwasser:

4.3.1. Nasstauchanzug mit oder ohne Kopfhaube:

Er dient als Wärmeschutz und auch als Schutz gegen unbeabsichtigte Berührung mit Felsen, Korallen und anderen Meeresbewohnern. Nasstauchanzüge dürfen nicht einengen oder in den Gelenkbereichen kneifen. Sie sollten aber gut passen, damit nur wenig Wasser zwischen Anzug und Haut eindringen kann. Das vom Körper aufgewärmte Wasser sollte nicht wieder abfließen können, damit die Auskühlung verzögert wird.

Der **Auftrieb des Anzugs** ist umso größer, je dicker er ist und muss mit Bleigewichten ausgeglichen werden.

Wenn die Kopfhaube fest mit der Jacke oder dem Overall verbunden ist, dringt weniger kaltes Wasser ein als bei separaten Kopfhauben. Die besonders empfindliche Kopf- und Nackenregion wird besser geschützt. Am häufigsten werden zweiteilige Anzüge mit angesetzter Kopfhaube getragen.

Die Kopfhaube muss so geschnitten sein, dass sie die Bewegung nicht einschränkt und **nicht von der Stirne nach hinten rutscht**, wenn man den Kopf nach vorn neigt. Stabile Reißverschlüsse verlängern die Lebensdauer, eine Textilbeschichtung des Neoprens schützt vor starkem Abrieb.

Foto 10: *Nasstauchanzug*

Neopren ist mit Wasserdampf aufgeschäumter Kautschuk welcher mit Nylon oder anderen Materialien beschichtet wird. Durch die eingeschlossenen Gasblasen wirkt der Kautschuk als Wärmeisolator. Bei den Gasblasen gibt es große Unterschiede. So sind Materialien mit mikrofeinen Blasen sehr druckstabil aber weniger komfortabel in der Passform. Grob geschäumte Materialien liegen „softweich“ an, aber bei Druckzunahme verlieren sie sehr schnell an Materialstärke und isolieren weniger gut.

Neuzeitliche Innenbeschichtungen aus Schlingengewebe, welches mit Metallverbindungen beschichtet ist, vermitteln ein angenehmes Wärmegefühl, weil sie die Wärme reflektieren. Leider sind bei diesen Anzügen allergische Reaktionen der Haut keine Seltenheit!

Neopren wird in verschiedensten Stärken von 0,5 mm - 10 mm gefertigt. Für Tauchanzüge werden im allgemeinen Stärken von 3 bis 7 mm verwendet.

Es gibt verschiedene Typen von Anzügen:

Für das Hallenbad werden Anzüge bis 3 mm verwendet welche in Form eines Shorty´s oder Overalls gefertigt werden.

Für tropische Gewässer (28°C bis 30°C) sind je nach Kälteempfinden 3 bis 5 mm Overalls zu empfehlen. Tauchguides und kommerziell oder wissenschaftlich arbeitende Taucher tragen erfahrungsgemäß 7 mm Anzüge. Shorties sind hier wegen der Verletzungs- und Vernesselungsgefahr ungeeignet. Separate oder angesetzte Kopfhauben oder Neoprenstirnbänder schützen den Kopf allgemein und verringern die Gefahr einer Ohreninfektion.

Für kalte Gewässer sind Anzüge ab 7 mm zwingend. Dazu gibt es folgende Anzugtypen:

- **Der klassische Zweiteiler** besteht aus Long John Hose und Jacke mit integrierter Kopfhaube. Je nach Ausführung mit oder ohne Reißverschlüssen an den Armen und Beinen. Arme, Beine und Kopfhaube sind mit Dichtmanschetten versehen, damit nur ein geringer Wassertausch im Anzug stattfinden kann.
- **Der Overall ist ein Einteiler** mit oder ohne Kopfhaube oder Dichtmanschetten, zu welchem es einen entsprechenden „**Überzieher**“ gibt. Wegen des enormen Auftriebs, der durch den Überzieher entsteht, entscheidet sich die Mehrzahl der Taucher für einen 2 – 3 mm „**Thermounterzieher**“. Letzterer hat den Vorteil des geringen Auftriebs und höheren Wärmegefühls. Zudem kann der Unterzieher ideal im Schwimmbad und beim Schnorcheln verwendet werden.
- **Der Halbtrocken- oder auch Semidry-Anzug** ist ein Overall mit einem gas- und wasserundurchlässigen Reißverschluss (wie ein Trockentauchanzug). Unter diesem Anzug trägt man „Funktionsunterwäsche“, da man nur schweißnass wird, was natürlich eine geringe Auskühlung zur Folge hat. Ein weiterer Vorteil gegenüber dem Trockentauchanzug ist die uneingeschränkte Bewegungsfreiheit.
- **Der Trockentauchanzug** kann aus Neopren oder den verschiedensten Kunststofflaminaten gefertigt sein. Die Spezial-Reißverschlüsse können, je nach Bauart, im Front- oder Rückenbereich eingefügt sein. Die Füßlinge sind fest mit den Beinen verbunden. Die Kopfhaube kann, je nach Bauart, am Anzug integriert sein oder separat dazu angezogen werden. Die Hals- und die Armmanschetten sind wasserdicht. Zur Isolation und zum Schutz vor Barotraumen der Haut (Quetschfalten) wird im Anzug ein dicker Unterzieher getragen. Dazu gibt es passende Handschuhe.

Achtung: Um diesen Anzugtyp verwenden zu können ist eine entsprechende Ausbildung erforderlich (Sonderbrevet „Trockentauchen“)**.**

Pflegehinweis: Neoprene sind teilweise offenporig und speichern in sich alles, womit sie in Berührung kommen, z.B. Hautfette, Pilzsporen, Algen, Plankton, Schmutz, Kalk, Salz etc.!

- Anzüge sind wie getragene Unterwäsche zu sehen und sollten aus hygienischen Gründen nur von einer Person benutzt werden.
- Reinigung in einer milden, warmen Lauge, anschließend im klaren Wasser gut ausspülen. (Wollwaschprogramm in der Waschmaschine - NICHT SCHLEUDERN). Um den Anzug im Schulterbereich nicht zu stark zu beanspruchen, empfiehlt es sich, ihn zum Trocknen zunächst über einen breiten Gegenstand zu legen und erst nach dem Abtropfen auf einen breiten Bügel zu hängen.
- Mit der Zeit lagert sich bei den Trocknungsvorgängen Kalk in den Poren ab, was den Anzug rau und steif werden lässt. Um dies zu verhindern, legt man den Anzug nach der Reinigung in ein Essigbad und nach dem Ausspülen gibt man in das letzte Spülwasser einen Schuss Weichspüler.

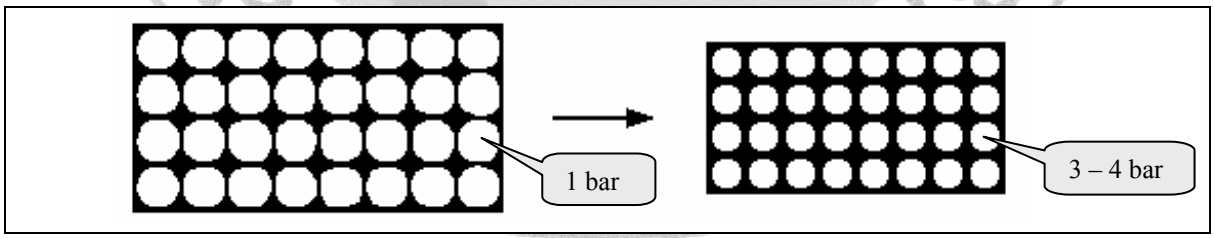
Bleibedarf im Freiwasser:

Ein durchschnittlicher Taucher muss im kalten Süßwasser für einen 5 bis 7 mm Anzug ca 6 bis 9 kg Blei mitnehmen, um den Auftrieb des Anzuges austarieren zu können. Bei guter Passform sollte möglichst wenig Wasser in den Anzug eindringen und in der Kopfhaube darf keine Luftblase sein. Am besten überprüft man die Tarierung, indem man **1 kg Blei pro Millimeter Anzugstärke** am/im Gürtel und weitere **2 kg Blei in den Jackettaschen** mitführt.

Foto 10: *Bleigürtel mit Bleitaschen*

An der Wasseroberfläche wird das Jacket entlüftet und der Taucher atmet aus. Sinkt er dann nicht ab, muss er noch zusätzliches Blei einstecken. Bei tiefer Einatmung soll der Taucher im Wasser so schweben, dass er nicht absinkt. Wenn er nach oben schaut, soll er durch seine Maske die Trennlinie zwischen Wasser und Luft sehen können. Sinkt der Taucher trotz tiefer Einatmung ab, muss die Bleimenge entsprechend verringert werden. **Um absteigen zu können muss der Taucher ausatmen!**

Beim Abstieg werden die im Neopren eingeschlossenen Luftblasen zusammengedrückt und dadurch der Wärmeschutz vermindert. In 10 m Tiefe wird das Volumen der eingeschlossenen Luft halbiert, wodurch auch der Auftrieb geringer wird. Durch Einblasen von Luft ins Jacket wird der Schwebezustand in der Tiefe wieder hergestellt. Mit kleinen Luftstößen kann wesentlich besser tariert werden als mit großen. Auch beim Aufstieg ist es zweckmäßiger, immer nur geringe Luftmengen abzulassen, damit man nicht unbeabsichtigt wieder absinkt. Mit Anzug muss wesentlich mehr tariert werden als ohne. Sobald ein Taucher mit Anzug und Blei taucht, wird sein Schwerpunkt verändert. Die Schwimmlage ist anfänglich nicht so stabil wie ohne Anzug.



Die Luftblasen im Neopren werden zusammengedrückt

Anmerkung:

Meerwasser hat eine ca 2 % größere Dichte als Süßwasser. Der Auftrieb im Meerwasser ist daher größer und man wird mit dem gleichen Tauchanzug 2 - 3 kg mehr Blei mitführen müssen, als im Süßwasser. Werden einzelne Bleigewichte „aufgefädelt“, muss der Gurt dafür lang genug sein. „Bleistopper“ können verhindern, dass Blei vom Gurt rutscht und versinkt, wenn man unter Wasser die Schnalle anstelle des freien Endes fest hält.

4.3.2. Flossen zum Gerätetauchen:

Um im Wasser einen besseren Vortrieb zu bekommen benötigen wir Flossen. Sie können in zwei Gruppen unterteilt werden.

- **Flossen mit geschlossenem Fußteil** (ohne Füßlinge) werden zum Schwimmen an der Oberfläche, zum Schnorcheln und dem Apnoetauchen benutzt. Für diese Aktivitäten sind Geräteflossen nicht geeignet, da die Fußgelenke zu stark beansprucht werden und erhebliche Krampfgefahr entsteht.

  Für das Gerätetauchen sind sie im allgemeinen ungeeignet, da sie zu weich sind und dadurch die große Gewichtslast eines Gerätetauchers nur ungenügend vorwärts treiben können.

  Des weiteren muss ein Gerätetaucher oftmals über steinigen Grund oder am Meer über Riffdächer zum Einstieg gehen, was eine hohe Verletzungsgefahr für die Füße bedeutet, da Flossen nicht zum Gehen geeignet sind.

- **Flossen mit offenem Fußteil und Fersenband** haben eine erheblich härtere Materialmischung und können nur gemeinsam mit Neopren-Füßlingen getragen werden. Es gibt eine Vielzahl unterschiedlichster Flossentypen, welche für den eigenen Leistungsstand und natürlich auch Geldbeutel zugeschnitten sein sollten. Hier hat jeder Hersteller seine eigene Philosophie.

  Wichtig bei der Auswahl einer Flosse sind eine gute Passform am Fuß (ohne Drücken und Wackeln) und ein leicht verstellbares Fersenband.

  Für Taucher, die zu Wadenkrämpfen neigen, ist eine Flosse mit geteiltem Flossenblatt die vernünftigste Lösung, da sich dieser Flossentyp selbständig stabilisiert und sich bei starkem Druck auf das Flossenblatt auffächert, was sie weich werden lässt. Ein guter Vortrieb mit diesen Flossen ist nur gewährleistet, wenn der Taucher auch bei starker Nutzung immer seinen **weit ausholenden und ruhigen Beinschlag beibehält**.

  Fazit: Jede Flosse ist nur so gut, wie ihr Benutzer. Er muss in der Lage sei, sie richtig einzusetzen zu können! Ohne qualifiziertes Schwimmtraining durch geschulte Trainer bringt die beste Flosse keine guten Ergebnisse beim Tauchen.

Pflegehinweis: Flossen werden nach Gebrauch im sauberen Wasser abgespült und danach zum Trocknen im Schatten auf den Fersenbereich gestellt. Die richtige Lagerung sollte liegend, druckfrei, kühl und nicht in der Sonne sein.

Wichtig: Ein Ersatz-Fersenband gehört unbedingt ins Tauchgepäck.

4.3.3. Füßlinge:

Sie werden aus Neopren gefertigt, welches je nach Temperatur des Wassers unterschiedlich dick sein muss - kalte Gewässer 7 mm, warme Gewässer 5 mm. Besonderen Kälteschutz bieten Füßlinge mit einer eingearbeiteten zusätzlichen Dichtmanschette, welche das Eindringen von Wasser verhindert. Ein Gummiwulst an der Ferse sorgt dafür, dass das Flossenband nicht abrutscht. Füßlinge sollten einen Reißverschluss zum leichteren An- und Ausziehen und eine rutschfeste Laufsohle haben.

Beim Neukauf müssen Füßlinge in Verbindung mit den eigenen Flossen anprobiert werden, damit sichergestellt ist, dass sie druckfrei passen.

Für kälteempfindliche Taucher gibt es Neoprensocken, die unter den Füßlingen getragen werden, was beim Kauf der Füßlinge unbedingt berücksichtigt werden muss.

Um die Füßlinge nach Gebrauch auch im Innenbereich trocknen zu können, sind im Fachhandel unterschiedliche Füßling-Trockner erhältlich.

4.3.4. Handschuhe

Handschuhe werden benötigt, um die Hände vor Kälte und Verletzungen zu schützen. Zu diesem Zweck gibt es Neoprenhandschuhe unterschiedlichster Bauart. Für den Sporttaucher sind, je nach Temperaturempfinden 3, 5 oder 7 mm Handschuhe am gebräuchlichsten.

Neoprenfäustlinge sind wärmer als Fingerhandschuhe, da nur Daumen und Zeigefinger in separaten Fingerlingen stecken. Sie schränken jedoch die Bewegungsfreiheit der Finger ein. Deshalb werden heute im Handel überwiegend Fingerhandschuhe angeboten. Beide Typen werden mit und ohne Klettband am Schaft des Handschuhs oder auch in halbtrockener Ausführung mit Innenmanschette angefertigt. Beim Kauf von Handschuhen muss darauf geachtet werden, dass der Handschuh zwar anliegt, aber nicht zu eng ist.

Achtung: Zu eng anliegende Handschuhe pressen das Blut aus den Hautgefäßen und führen dadurch zur raschen Auskühlung.

Seit der Entwicklung von Rettungswesten und Jackets als Auftriebshilfen ist es nur noch selten notwendig, dass sich Taucher einmal festhalten müssen. Zur Erhaltung des Lebensraums unter Wasser war es notwendig, dass für Taucher grundsätzlich ein Berührungsverbot von Fauna und Flora eingeführt wurde. Wenn sich aber ein Taucher aus Sicherheitsgründen einmal festhalten muss, sollte dies – wenn möglich – nicht mit ungeschützten Händen geschehen. Wer in Gebieten taucht, wo wegen extremer Strömungen ein Festhalten am Riff zwingend werden kann, sollte mit Textilhandschuhen und Strömungshaken ausgerüstet sein. Jeder Hautkontakt unter Wasser mit Pflanzen oder Tieren muss unbedingt vermieden werden. Auch scheinbar harmlose Meereslebewesen können für Menschen gefährlich, ja sogar tödlich sein.

4.4. Ausrüstung für ausgebildete Taucher:

Sobald ein Taucher mit seinem Anzug und der Bewegung im Freiwasser zurecht kommt, kann er damit beginnen, sich mit weiteren Ausrüstungsgegenständen vertraut zu machen.

4.4.1. Tauchuhr / Tiefenmesser / Tauchtabelle:

Bis vor 20 Jahren konnten die „Dekompressionsvorschriften“ eines Tauchers ausschließlich mit diesen Hilfsmitteln bestimmt werden.

Eine typische **„Tauchuhr“** verfügt über einen Stellring, der zu Beginn des Tauchganges so eingestellt werden muss, dass die „0“ auf dem Minutenzeiger steht. So kann mit dem Weiterrücken des Minutenzeigers die Zeit unter Wasser erfasst werden.

Der „**mechanische Tiefenmesser“** hat einen sog. „Schleppzeiger“, der von der „Zeigernadel“ „mitgeschleppt“ wird und so die größte erreichte Tauchtiefe markiert. Dieser Schleppzeiger muss vor jedem Tauchgang auf Null gestellt werden. Da mechanische Tiefenmesser immer nur Druckdifferenzen messen, muss nach Höhenänderungen (Meer ↔ Bergsee) je nach Bauart der mechanische Nullpunkt nachgestellt oder das Gehäuse entlüftet werden.

Die **Bestimmung der sog. Nullzeit** mit der Tauchtabelle erforderte Daten von Uhr und Tiefenmesser.

Es gibt verschieden Dekotabellen, welche im Laufe der Jahre aufgrund von wissenschaftlichen Erkenntnissen verändert oder durch andere neue Tabellen verdrängt oder ergänzt wurden. Einzelne der heute auf dem Markt befindlichen Tabellen sind für unterschiedliche Höhenbereiche (z.B. von 0 bis 700 m über NN und 701 bis 1500 m über NN) aufgegliedert. Es wurde jedoch nicht geklärt, wie sich ein Taucher verhalten soll, wenn er unter 700 m wohnt und über 700 m oder gar über 1500 m tauchen will. **Diese Tabellen können daher in vielen österreichischen Bergseen nicht verwendet werden.**

Für das Tauchen mit „Nitrox“ und besonders für Mischgase wurden weitere Tabellen entwickelt. Einzelne Dekompressionstabellen sind nach heutigem tauchmedizinischem Wissensstand nur noch eingeschränkt gültig und für mehr als zwei Tauchgänge pro Tag ungeeignet.

Erst durch die Berechnung einer 0 m-Bühlmanntabelle und Anwendung der „**Methode des Tiefenzuschlages**“ wurde eine einfache Bestimmung der Dekompressionsvorschrift für alle Bergseen möglich, in denen getaucht werden kann.

Die „0 m-Bühlmanntabelle“ NITROX 21 wurde für die universelle Planung von Tauchgängen in beliebigen Seehöhen entworfen. Gemeinsam mit dem „Nitroxplaner“ ist sie im Gegensatz zu Computern auch zur Planung von Wiederholungstauchgängen mit Luft und sauerstoffangereicherter Luft (Nitrox) geeignet.

4.4.2. Dekompressioncomputer:

Aus der Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Tauchcomputer den für sich richtigen herauszufinden, ist nur nach guter Beratung und langem Einlesen in die jeweiligen technischen Arbeits- und Anzeigedaten und vor allem nach Abwägung der Kosten möglich. Computer sollten **„bergsee- und nitroxtauglich“** sein.

Foto 11: *Computer*

Vor dem Kauf sollte man wissen, ob man die Batterie selbst wechseln kann, oder ob sie vom Hersteller getauscht werden muss. Ein Batteriewechsel durch den Händler ist nicht unbedingt preiswert, schließt aber eine „Dichtheitsgarantie“ ein.

Computer werden durch den Kontakt mit dem Wasser aktiviert. Während des Tauchgangs zeigen die meisten Computer die augenblickliche und die maximale Tiefe, die verbleibende Nullzeit, die Aufstiegsgeschwindigkeit und eventuelle Dekopausen an.

Luftintegrierte Computer haben zusätzlich die Aufgaben des Finimeters übernommen und zeigen nicht nur den Flaschendruck, sondern oft schon die verbleibende Resttauchzeit an.

Ein Computer ersetzt somit Uhr, Tiefenmesser, Dekotabelle und – wie im abgebildeten Modell – auch das Finimeter. Die Übertragung des Flaschendruckes erfolgt entweder über

einen Hochdruckschlauch oder schlauchlos von einem Sender an der Hochdruckstufe des Reglers zum Empfänger im Computer am Handgelenk des Tauchers. Bei der schlauchlosen Ausführung hat der Sender eine eigene Batterie. Erschaltet sich ein, sobald das Flaschenventil aufgedreht wird. Das Ventil wird erst kurz vor Beginn des Tauchgangs geöffnet und unmittelbar danach wieder geschlossen, um den Regler drucklos zu machen, damit der Sender wieder ausgeschaltet und die Lebensdauer der Batterie verlängert wird.

Hinweis: Ein Computer muss vor mechanischer Belastung und direkter Sonnenstrahlung geschützt werden. Nach dem Tauchgang wird er im sauberen Süßwasser gespült und getrocknet und zeigt dann eine „Entsättigungszeit“ und das „Flugverbot“.

4.4.3. Kompass:

Er ermöglicht in vielen Fällen erst die Orientierung unter Wasser und sollte auch bei schlechter Sicht deutlich ablesbar sein. Der Umgang mit dem Unterwasser-Kompass muss in einem eigenen Kurs (**Kompassbrevet**) erlernt werden.

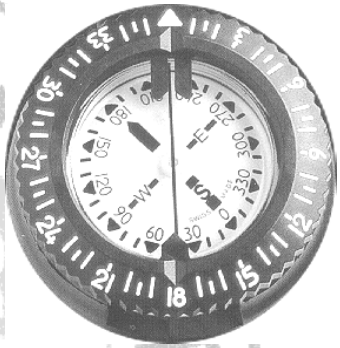


Foto 12: *Kompass*

Schon die Auswahl eines Kompasses erfordert Erfahrung und eine gute Beratung. Bei einfachen Geräten neigt die „Nadel“ zu Ungenauigkeiten oder bleibt “hängen“, wenn man das Gehäuse zu weit neigt.

Der UW-Kompass wird am besten in der Konsole untergebracht, da so gewährleistet ist, dass er zur Richtungsbestimmung möglichst genau in die verlängerte Körperachse gebracht werden kann. Die Befestigung am Arm ist nur ein Behelf und erschwert die Einhaltung eines genauen Kurses.

Vorsicht: Magnetschalter von Tauchlampen können die Kompassanzeige verändern.

4.4.4. Unterwasser-Scheinwerfer:

Erst UW-Scheinwerfer mit möglichst weißem Licht (Halogen, Xenon) zeigen die Farbenpracht der Unterwasserwelt. Auch bei Tauchgängen am Tag ist die Lampe nützlich, weil Farbsehen mit den „Zapfen“ (farbempfindlichen Zellen in der „Netzhautgrube“ des Auges) nur bei hellem Licht möglich ist. Im Dämmerlicht sind nur die hell-dunkel-empfindlichen „Stäbchen“ wirksam und man kann daher keine Farben mehr erkennen.

Ein Nachttauchgang ist ohne Lampe nicht möglich. Weil die meisten Tiere erschrecken oder sich zurückziehen, wenn sie von einem starken Lichtstrahl erfasst werden, gibt es Lampen mit umschaltbarer Leistung.

Lampen mit Spannungen unter 12 V und Leistungen unter 20 W haben in vielen Fällen wenig Nutzen. Bei den tiefen Temperaturen unserer Bergseen bewähren sich die robusten und schnellladefähigen Sinterzellen der Nickel-Cadmium-Akkus (Ni-Cd-Akkus) gewöhnlich besser als Nickel-Metallhydrid-Akkus. Ni-MH-Akkus haben bei gleicher Baugröße fast die doppelte Kapazität, sind aber für tiefe Temperaturen meist schlechter geeignet.

Durch Entladen (Brennenlassen der Lampe bis das Licht gelblich wird oder die Lampe zu blinken beginnt) kann die Lebensdauer eines Akkus kaum erhöht werden. Besser eignet sich ein passendes Impuls-Ladegerät, welches die Temperatur des Akkus überwacht und den sog.

„Memoryeffekt“ verhindert. Auch alte Batterien mit hoher Selbstentladung behalten ihre Kapazität, wenn sie unmittelbar vor dem Tauchgang im „Schnellademodus“ aufgeladen werden.

> Akkus sollen nie tiefentladen werden! Wenn die Lampe beginnt gelblich zu brennen, darf sie nicht mehr eingeschaltet werden.

Im Gegensatz zu Bleiakkus dürfen Ni-Cd- oder Ni-MH-Akkus ungeladen liegen bleiben. Bleiakkus müssen nach dem Tauchen, aber auch in langen Tauchpausen regelmäßig nachgeladen oder „gepuffert“ werden, weil sich ihre Zellen sonst irreparabel verändern.

Wichtig: Ein Ersatz-Leuchtmittel gehört unbedingt ins Tauchgepäck.

Hinweis: Das Gewicht des Scheinwerfers verändert die Tarierung!

4.4.5. Signalpfeife:

Sie braucht keinen Platz, hat sich aber in Notsituationen schon oft bewährt und sollte am Jacket so befestigt werden, dass sie jederzeit griffbereit ist.

4.4.6. Messer:

Im Meer und in Seen, in denen Netze, Seile und Angelschnüre hängen, ist ein Messer oder ein Kraftschneider auf jeden Fall sinnvoll und muss bei jedem Tauchgang mitgeführt werden. Es genügt, wenn man sich ein einziges Mal in 10 Jahren verfängt und sich oder den Tauchpartner in aller Ruhe befreien kann, ohne panisch zu reagieren und einen Unfall heraufzubeschwören.

Wer glaubt, ein Messer zur Abwehr gegen gefährliche Tiere benützen zu müssen wird sehr schnell erkennen, dass dazu kein Anlass besteht!

Für unterschiedliche Einsatzgebiete sind bestimmte Messertypen zweckmäßig. So sind Riesenmesser mit breiter Klinge nur bei stark strömenden Gewässern mit sandigem oder weichem Grund sinnvoll, damit man sich, wenn nötig, im Grund festhalten kann.

Ansonsten sind eher kleine Messer angebracht, welche man am Jacket befestigt. So kann das Messer auch nicht vergessen werden.

Hinweis: Messer werden nach dem Tauchen mit klarem Süßwasser abgewaschen und getrocknet. Aus Umweltschutzgründen werden sie, wenn nötig, nur mit Silikonfett behandelt, weil dieses Fett temperaturfest ist und sich nicht vom Messer löst.

4.4.7. Signalboje:

In vielen Bereichen des Mittelmeeres müssen Frei- und Gerätetaucher einen roten oder gelben Ballon mit Fähnchen an einem Seil mit sich führen, während sie ihren Sport ausüben. Boote sind zwar verpflichtet, mindestens 50 m Abstand zu Bojen zu halten, jedoch wirken solche Bojen oft besonders anziehend. Es ist ratsam, auf Motorgeräusche zu hören und sich durch

einen Blick in alle Richtungen davon zu überzeugen, dass tatsächlich gefahrlos aufgetaucht werden kann. Auch ein Windsurfer kann einem Taucher „den Scheitel ziehen“.

Die Signalboje wird während des Tauchgangs an einer Leine nachgezogen, um andere Wassersportler zu warnen, dass Taucher im Wasser sind. Diese Boje wird auch bei Übungen verwendet, um möglichst ungefährdet im Freiwasser aufsteigen zu können. Damit sie nicht umkippen kann, ist bei einzelnen Bojen im Bodenbereich eine Wasserkammer angebracht, welche vor dem Aufblasen gefüllt wird.

Spezielle Signalbojen, in Torpedoform, sind für Schnorchler gedacht, um auch ihnen die höchst mögliche Sicherheit zu gewährleisten, besonders wenn sie kurzzeitig abtauchen oder ermüden.

4.4.8. Notsignalboje:

Die Farbe der **Notsignalboje** ist in grellrot gehalten. Sie besteht aus einem langen, oben verschweißten Kunststoffschlauch mit Bleiplatten und Halteösen am unteren, offenen Ende. Im zusammengerollten Zustand steckt sie in einer Bojentasche und diese wird mit einer Leine so in einer Tasche des Jackets befestigt, dass weder Boje noch Tasche verloren gehen können.

In der Jackettasche braucht dieser „Kunststoffschlauch“ in grellen Farben kaum Platz, aber wenn er aufgeblasen wird, fällt er aufgrund seiner Größe und Farbe sofort auf. Ein Taucher, der seinen Partner oder seine Gruppe verloren hat, steigt zur Wasseroberfläche auf, entrollt die Boje und bläst sie mit dem Lungenautomaten auf, bis sie „stramm“ im Wasser steht. Sie kann auch schon unter Wasser während einer Dekopause oder eines Sicherheitsstopps aufgeblasen werden.

Besonders bei Wellengang sind Taucher an der Wasseroberfläche ohne Signalboje schwer zu entdecken. Taucher ohne Signalboje und ohne VHF-Sender (Notfrequenz 121.5 MHz) können bei starken Strömungen verloren gehen, wenn sie ins offene Meer abgetrieben werden.

> Ein Taucher, der im Meer in eine Strömung kommt, oder wegen Luftmangel an einer nicht vorgesehenen Stelle aufsteigen muss, kann sich mit einer Notsignalboje bemerkbar machen.

In unseren Seen kann diese Boje aber zu Hause gelassen werden.

4.4.9. Taucherflagge:

Am Meer muss das Tauchboot bzw. der Tauchplatz mit einer sog. „Alpha-Flagge“ (weiß/blau) gekennzeichnet werden. Man trifft aber auch oft auf rote Flaggen mit einem weißen Diagonalstreifen, die Boote als Tauchboote kennzeichnen.

4.5. Wartung, Pflege der Ausrüstung:

Nach einem Tauchgang sollte die Ausrüstung wenn möglich mit reinem Süßwasser abgespült und vor dem Verstauen gründlich getrocknet werden.

Vor dem Abspülen der Lungenautomaten muss die **trockene Schutzkappe** auf den Einlass der 1. Stufe aufgesetzt werden, damit der Sinterfilter trocken bleibt und kein Wasser eindringen kann. Aus demselben Grund darf auch der Duschknopf während der Spülung mit Wasser nicht gedrückt werden. In den Mitteldruckbereich eingedrungenes Wasser kann ein gefährliches „Vereisen“ von Lungenautomaten begünstigen.

Der Zweitautomat oder auch eine zusätzliche 2. Stufe („Oktopus“) sollten sorgfältig inspiziert und gereinigt werden. Manchmal dringen Sand oder andere Fremdkörper unbemerkt in das nicht verwendete Mundstück ein und beeinträchtigen die Funktion.

Eine Maske soll zwar stets in der Schutzbox aufbewahrt werden, in dieser im nassen Zustand jedoch nicht zu lange verbleiben, weil sich – besonders bei Masken aus Silikon – ein Pilzbelag in Form von schwarzen Rändern zwischen Glasscheibe und Maskenkörper bildet, den man nicht mehr entfernen kann.

Auch das Innere des Jackets – die sog. „Blase“ – muss mit Süßwasser gespült werden. Nach der Reinigung muss das Jacket teilweise aufgeblasen gelagert werden, um auch hier einer Schimmelbildung vorzubeugen.

Nasse Anzüge hängt man am besten an einem schattigen Ort auf geeignete Bügel, damit sich keine Falten oder Knickstellen bilden. Handschuhe und Füßlinge werden außen und innen getrocknet und – sollten keine geeigneten Haken vorhanden sein – evtl. mit Papier „ausgestopft“. Flossen können – wenn vorhanden – mit “Spannern“ versehen werden, alle anderen Gegenstände finden Platz in der Tauchtasche.

Lampen sollten so leicht zugeschraubt werden, dass sie nicht verstauben und die O-Ringe noch keine Druckstellen bekommen. Das Leuchtmittel darf nicht mit den Fingern berührt werden, da sich sonst Schweißreste „einbrennen“ welche die Lichtausbeute und Lebensdauer verkürzen.

Bei Flugreisen gehören Taucherlampen ins Handgepäck, um sie gegen Beschädigungen besser schützen zu können. Allerdings gibt es genauere Kontrollen des Handgepäcks. Das Leuchtmittel muss vor dem Flug herausgenommen oder der Schalter „arretiert“ werden, damit ein unbeabsichtigtes Einschalten unterbleibt.

Vor einem Tauchurlaub sollte die Ausrüstung im See oder wenigstens im Schwimmbad praktisch geprüft werden. Die Erprobung muss so früh stattfinden, dass einzelne Ausrüstungsgegenstände im Bedarfsfall noch in Ruhe ersetzt oder repariert werden können.

Was nützt der teuerste Lungenautomat im Urlaub, wenn er selbst nach einer Wartung durch den Fachhändler abbläst? Was nützt die schönste Flosse, wenn das Fersenband reißt?

Plötzlich klemmt der Reißverschluss und die Batterie des Computers ist leer. Die Lampe leuchtet nicht mehr und die Maske hat schwarze Flecken. Der Anzug passt auch nicht mehr. (Der ist doch sicher „eingegangen“…)

Nicht nur die Ausrüstung, auch das eigene Können muss nach einer längeren Tauchpause überprüft werden.

Wie steht es mit der letzten „Untersuchung der Tauchtauglichkeit“?

Nach dem Tauchurlaub, oder wenn eine längere Tauchpause bevorsteht, ist eine umfassende Pflege der Ausrüstung zu empfehlen. Für jeden Gegenstand gibt es Pflegeanweisungen vom Hersteller.

Das Tauchermesser sollte vor einer längeren Tauchpause gründlich gereinigt, von Rost befreit und eingefettet werden.

Wird die Tauchflasche längere Zeit nicht verwendet, wird sie mit ca. 50 bar Restdruck „stehend“ gelagert und gegen Umfallen gesichert. Damit wird der Korrosion durch eingedrungenes Wasser vorgebeugt. Sollte trotzdem eine Korrosion stattfinden, ist der Schaden im Fußteil der Flasche (wo sich Wasser sammeln kann) am geringsten, weil dort der Stahl relativ dick ist und beim Füllen die geringsten Zugkräfte auftreten. Vor der neuerlichen Verwendung muss überprüft werden, ob der Prüfstempel (TÜV) noch gültig ist.

Grundsätzlich besteht bei jeder Tauchflasche die Möglichkeit, dass Wasser eindringt und Rost bildet. Wird mit dem Kopf voran abgetaucht, kann es vorkommen, dass Rostpartikel in das Steigrohr des Flaschenventils gelangen, den Sinterfilter des Lungenautomaten verlegen und die Luftzufuhr behindern oder sogar unterbrechen. Tauchflaschen müssen daher regelmäßig gewartet und geprüft werden.

Wurde eine Flasche gerade erst geprüft, kann das Gewinde des Flaschenventils mit Schneidöl verunreinigt worden sein. Meist kann der Ölrest durch mehrmalige „Spülung“ mit Pressluft beseitigt werden. In Einzelfällen muss das Tauchgerät zerlegt und gereinigt werden. Vorsicht vor ölhaltiger Luft: Kopfschmerzen, und/oder Brechreiz können ausgelöst und unter Wasser gefährlich werden. Außerdem kann ölhaltige Luft die Lunge schädigen.

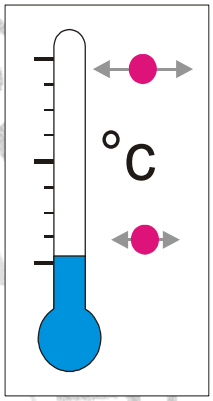
5. Physik als Grundlage der Dekompression

Physiker haben sich für die verschiedenen physikalischen Größen (wie z.B. Länge, Masse und Zeit) auf ein Maßsystem mit den Grundeinheiten Meter [m], Kilogramm [kg] und Sekunde [sec] geeinigt. Es werden damit Naturgrößen beschrieben, wie der Druck der Atmosphäre auf Meeresniveau (1 bar ≈ 1 kg/cm^2) und die Anziehungskraft der Erde, welche das „Gewicht" erzeugt (1 kg Masse erzeugt eine Gewichtskraft von ≈ 10 Newton).

5.1. Temperatur:

Die Temperatur ist die Folge von Wärmeschwingungen der Moleküle.

Je höher die Temperatur, desto lebhafter bewegen sich Moleküle um eine „Gleichgewichtslage". Die Moleküle stoßen benachbarte Moleküle an, geben dabei ihre Bewegungsenergie ab und die Wärme wird weiter geleitet. Einzelne Moleküle erreichen so hohe Geschwindigkeiten, dass sie beispielsweise aus einer Flüssigkeit in die umgebende Luft gestoßen werden. Dabei nehmen sie ihre Bewegungsenergie mit und die Flüssigkeit kühlt ab (Verdunstung – nasse Haut kühlt ab).



Grafik 1:
Wärmeschwingungen

Beim „absoluten Nullpunkt" (-273 °C) hören alle Schwingungen auf

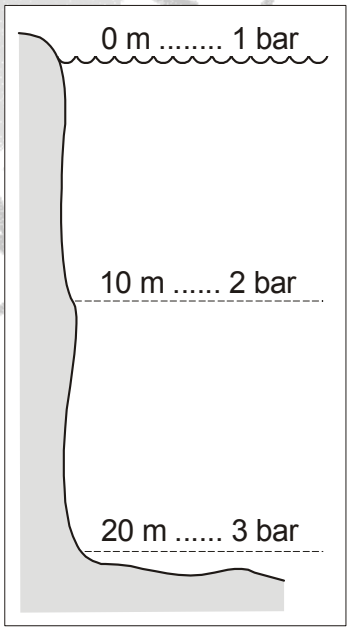
5.2. Umgebungsdruck im Wasser:

1 Liter Süßwasser = (10 cm)^3 = 1000 cm^3 und wiegt 1 kg. Stapelt man diese 1000 „Würfelchen" von je 1 cm^3 übereinander, so entsteht eine „Wassersäule" von 1000 cm = 10 m Höhe, welche auf der „Auflagefläche" einen Druck von 1 kg/cm^2 ≈ 1 bar erzeugt.

Ein Druck von 1 bar entsteht, wenn eine Kraft, wie das „Gewicht von 1 kg Masse", auf eine „Fläche von 1 cm^2 " einwirkt.

Die Druckzunahme im Wasser ist gleichförmig und beträgt im Meer 1 bar pro 10 m.

Im Süßwasser ist die Dichte ca 2 % geringer, deshalb ist auch die Druckzunahme 2 % geringer.



Grafik 2:
Hydrostatischer Druck

Der **Umgebungsdruck** (= Gesamtdruck), der auf den Taucher einwirkt, setzt sich zusammen aus dem tiefenabhängigen **Wasserdruck** und dem auf der Wasseroberfläche lastenden **Luftdruck.**

- Im Meer in 20 m Tiefe beträgt der Umgebungsdruck beispielsweise:

$$Luftdruck + Wasserdruck \approx Luftdruck + \frac{Tiefe}{10} = 1\,bar + \frac{20}{10}\,bar = 3\,bar$$

5.3. Luft:

Der Anteil des Wasserdampfs in der Luft ist temperaturabhängig, schwankt sehr stark und erzeugt die Wettererscheinungen. Je höher die Temperatur, desto mehr Wasserdampf kann die Luft aufnehmen.

Hauptbestandteile der **trockenen Luft** sind Sauerstoff (ca. 21 %) und „inerte“ (= reaktionsträge) Gase, wie Stickstoff (ca. 78 %) und Argon (ca. 0.9 %), die bei der Atmung keine chemischen Verbindungen eingehen.

Alle übereinander liegenden Luftteilchen erzeugen auf Meeresniveau den „Normaldruck“ von 1,013 bar ≈ 1 bar. Die Erdanziehungskraft bewirkt, dass die Luft nahe der Meeresoberfläche ihren größten Druck hat. Nach oben hin nimmt der Druck immer weiter ab.

Im Bereich von 0 – 4000 m ist die **Druckabnahme** annähernd gleichförmig und beträgt etwa 0.1 bar pro 1000 m oder .... **10 % pro 1000 m Seehöhe**.

In 3000 m Höhe beträgt der Luftdruck z.B. nur mehr 0.7 bar und der Umgebungsdruck von 1 bar, für den die meisten Dekotabellen berechnet werden, herrscht nicht an der Wasseroberfläche, sondern in 3 m Tiefe.

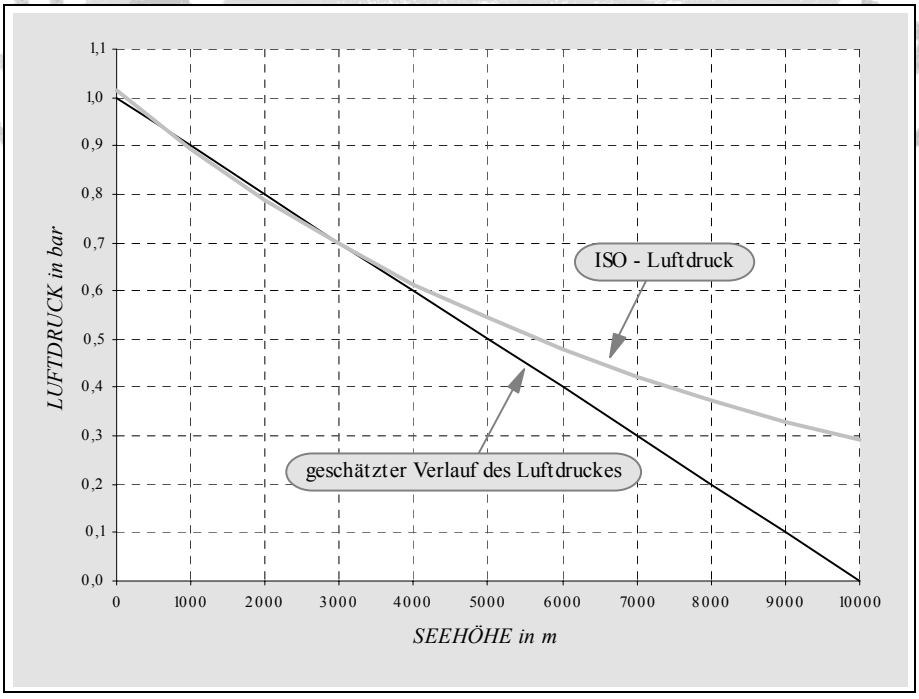


Diagramm 1: *Verlauf des Luftdruckes*

Achtung: Der Taucher findet durch den verminderten Luftdruck am Bergsee geänderte Verhältnisse vor und muss sein Aufstiegsverhalten (wie noch gezeigt wird) darauf einstellen, um keinen Schaden zu erleiden!

5.4. Wo kommt die Atemluft des Tauchers her?

Die Pressluft gelangt entweder aus sog. „Speicherflaschen“ oder direkt aus einem Atemluftkompressor in das Tauchgerät. Auch die Speicherflaschen müssen zuerst mit einem Kompressor gefüllt werden.

Der Weg der Luft führt durch einen langen Ansaugschlauch, der mit einem Filter versehen ist. Dadurch soll verhindert werden, dass Staub in den Kompressor gelangt. Die Luft wird in 3 Stufen verdichtet, bis sie den Enddruck von 200 bar erreicht. Rückschlagventile zwischen den Kompressorstufen verhindern, dass die Luft aus dem Abschnitt mit dem jeweils höheren Druck in den Bereich mit dem geringeren Druck zurückströmt und diesen beschädigt, wenn der Antriebsmotor abgestellt wird. Bei der Verdichtung sammelt sich der kondensierte Feuchtigkeitsanteil der Luft im sog. „Kondensatabscheider“ und muss regelmäßig abgelassen werden.

Bevor die Luft in das Tauchgerät strömt, gelangt sie durch einen **Aktivkohlefilter**, der sie von Ölresten und Geruch bildenden Bestandteilen reinigt. Der Filter ist jedoch nicht in der Lage Kohlendioxid (CO_2) oder Kohlenmonoxid (CO) aus der Luft zu entfernen.

Kompressoren werden entweder von Elektro- oder Verbrennungsmotoren angetrieben. Beim Ansaugen der Luft muss darauf geachtet werden, dass keine Motorabgase in den Ansaugschlauch des Kompressors gelangen, sonst kommen diese auch in die Tauchflaschen. CO und CO_2 werden nicht bemerkt, da sie farb-, geruch- und geschmacklos sind. **CO hat die Eigenschaft, dass es sich sehr stark ans Hämoglobin der roten Blutkörperchen bindet** und dadurch den Sauerstofftransport beeinträchtigt. CO-Vergiftungen können tödlich enden.

Ein Taucher, der Flaschen füllt muss sich daher sicher sein, dass der Wind **keine Abgase in den Ansaugstutzen** wehen kann. Der Ansaugschlauch soll lang sein und der Ansaugstutzen muss möglichst hoch angebracht und “in den Wind“ gerichtet werden.

Am Auslass des Kompressors sind manchmal zwei unabhängige Druckmesser montiert, damit der erreichte Enddruck auch bei Ausfall einer Anzeige abgelesen werden kann. Am Ende des Luftweges im Kompressor befindet sich ein **Sicherheitsventil**, über das die komprimierte Luft entweichen kann, bevor der Maximaldruck überschritten wird.

Die Hochdruckschläuche, die den Kompressor mit den Tauchflaschen verbinden, verfügen über eigene Auslassventile. Öffnet man versehentlich den Füllhebel des falschen Ventils, „schießt“ die Luft aus dem Füllschlauch und dieser peitscht um sich. Um eine derartige Gefahr zu vermeiden, müssen die Schläuche gesichert und die Ventile richtig bedient werden.

Kompressoren werden mit einem eigenen druckfesten „Kompressorenöl“ geschmiert. Der Ölstand muss vor jeder Inbetriebnahme kontrolliert werden. Das Öl und die Filter müssen nach einer vorgeschriebenen Anzahl von Betriebsstunden getauscht werden.

Achtung:
Bevor jemand mit einem Kompressor arbeitet, muss er auf diesen eingeschult werden!

Da sich Flaschen beim Füllen erwärmen, werden sie zur Vermeidung höherer Temperaturen oft „im Wasserbad“ gefüllt. Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur der Flasche. Kühlen erwärmte Flaschen ab, sinkt auch deren Druck. Gasflaschen müssen daher mit einem höheren Druck (über 200 bar) gefüllt werden, damit sie im abgekühlten Zustand den „Nenndruck“ von 200 bar erreichen.

Zur Berechnung der „absoluten Temperatur“ (gemessen in „Kelvin“) werden 273 K zur Temperatur in °C addiert.

Beispiel:

Eine Flasche mit 27 °C hat eine absolute Temperatur von 27 K + 273 K = 300 K (Kelvin). Wenn die Temperatur um 10 % von 300 auf 330 K steigt (das ist immerhin eine Erhöhung der Temperatur um 30 °C), dann steigt auch der Druck um 10 % von 200 auf 220 bar.

5.5. Gesetz von Boyle-Mariotte:

p * V = konstant

Bei gleichbleibender Temperatur ist das Produkt aus Druck (p) mal Volumen (V) für eine bestimmte Gasmenge konstant.

Presst ein Kompressor 2000 *l* Luft mit dem Druck von 1 bar in eine 10 *l* Flasche, so herrscht nach dem Abkühlen in der Flasche ein Druck von 200 bar. Die in der Flasche enthaltene **Luftmenge** ist:

200 bar * 10 *l* = 2000 bar *l* ..... „entspannte Luft“ mit 1 bar

Die Luftmenge hat sich durch den Füllvorgang nicht verändert, geändert haben sich aber der Druck und das Volumen der Gasmenge:

1 *bar* * 2000 *l* = 200 *bar* * 10 *l*

p1 * V1 = p2 * V2 ..... gilt für gleichbleibende Temperatur (T = k)

Anfangsdruck mal Anfangsvolumen

Enddruck mal Endvolumen

- Beim 200-fachen Druck wird das Volumen von 2000 *l* auf 1/200-stel (10 *l*) verringert.
- Die Luftmenge bleibt gleich.
- Die Veränderungen von Druck und Volumen sind immer gegenläufig.

5.5.1. Das Gesetz von Boyle-Mariotte hat verschiedene Auswirkungen:

Wird das Flaschenventil nur eine halbe Umdrehung geöffnet, so kann man an der Oberfläche problemlos aus dem Lungenautomaten atmen. In 30 m Tiefe bekommt der Taucher aber zu wenig Luft, weil er beim 4-fachen Druck 4-mal so viel Luft braucht, die durch die kleine Ventilöffnung nicht nachströmen kann (Unfallgefahr!).

Flüssigkeiten lassen sich im Gegensatz zu Gasen nicht zusammendrücken. Da die Gewebe des menschlichen Körpers zum Großteil aus Wasser bestehen, können sie auch nicht komprimiert werden. Der Umgebungsdruck pflanzt sich in ihnen fort. Im menschlichen Körper können daher nur in gasgefüllten Hohlräumen Unterschiede zum Umgebungsdruck auftreten. Gasgefüllte Hohlräume (mit **flexibler Abgrenzung** wie die Lunge) werden zusammengedrückt, bis der Druck des eingeschlossenen Gases gleich groß ist, wie der Umgebungsdruck (Druckausgleich). Bereits geringe Druckunterschiede in **starrwandigen** Höhlen, wie z. B. den Kieferhöhlen, rufen in der Regel Schmerzen hervor.

Ein Taucher kann unter Wasser nur atmen, weil der Lungenautomat das Atemgas mit dem jeweiligen Umgebungsdruck liefert. Die Atemmuskulatur würde die Druckunterschiede zwischen Lunge und dem umgebenden Wasser nicht bewältigen können.

5.5.2. Der Umgebungsdruck wird beim Tauchen verändert:

- Taucht ein Freitaucher 20 m ab, wird sein Brustkorb zusammengedrückt. Beträgt sein gesamtes Lungenvolumen beim Einatmen an der Oberfläche 6 *l*, wird es in 20 m Tiefe beim 3-fachen Umgebungsdruck **auf 1/3 zusammengedrückt** (2 *l*).
- Würde ein Taucher in 20 m Tiefe ebenfalls 6 *l* einatmen und mit angehaltenem Atem zur Oberfläche aufsteigen, so würde sich die Luft im Brustkorb auf das 3-fache (18 *l*) ausdehnen. **Ein Lungenriss wäre die Folge.**
- Beim 3-fachen Umgebungsdruck in 20 m Tiefe verbraucht der Taucher pro Atemzug **3-mal so viel Luft** (dreifache Luftmenge) wie an der Oberfläche.

5.6. Gesetz von Dalton:

Das Dalton'sche Gesetz besagt, dass sich in einem Gasgemisch die Teildrücke (Partialdrücke) von Gasen und Dämpfen so verhalten, wie ihr prozentueller Anteil.

Bei einem Umgebungsdruck von 1 bar beträgt der Partialdruck der Inertgase in der **trockenen Luft** 0,79 bar entsprechend ihrem Anteil von 79 %, der Partialdruck des Sauerstoffs 0,21 bar entsprechend seinem Anteil von 21 %. Wird der Luftdruck (entsprechend 10 m Tiefe) verdoppelt, so verdoppeln sich auch die Teildrücke der Gase.

Tabelle 1: *Trockene Luft*

Umgebungsdruck		Inertgase						Sauerstoff	
		Stickstoff		Argon		Restgase			
1 bar	100 %	0,78 bar	78 %	0,009 bar	0,9 %	0,001 bar	0,1 %	0,21 bar	21 %
2 bar	100 %	1,56 bar	78 %	0,018 bar	0,9 %	0,002 bar	0,1 %	0,42 bar	21 %

Ungesättigter Wasserdampf lässt sich mit der Luft zusammendrücken. Er verhält sich wie jedes andere Gas und unterliegt somit dem Dalton'schen Gesetz.

In der Lunge des Tauchers wird die Luft mit **Wasserdampf gesättigt**. Gesättigter Wasserdampf lässt sich **nicht zusammendrücken**, weil er bei Verringerung des Volumens kondensiert und weil bei Vergrößerung des Volumens das Wasser wieder verdampft. Der Dampfdruck bleibt somit konstant und muss vom Gesamtdruck abgezogen werden. Die verbleibenden Anteile von Sauerstoff und Inertgasen in der Restluft verhalten sich 21 % zu 79 %.

Tabelle 2: *Feuchte Atemluft in der Lunge bei 37 °C*

Umgebungsdruck		Inertgas		Sauerstoff		Wasserdampf	
1 bar	100 %	0,740 bar	≈ 74 %	0,197 bar	≈ 20 %	0,063 bar	≈ 6 %
2 bar	100 %	1,530 bar	≈ 76,5 %	0,407 bar	≈ 20,5 %	0,063 bar	≈ 3 %

Grenzen der Partialdrücke:

Mit zunehmender Tiefe steigen die Partialdrücke der Atemgase und diese beginnen auf den menschlichen Organismus „giftig“ zu wirken. In 40 m Tiefe beträgt der **Stickstoffdruck** bei Atmung von Pressluft 5 x 0,78 bar = 3,9 bar. Ab diesem Druck beginnt die Gefahr der sog. „Stickstoffnarkose“ (= „Tiefenrausch“).

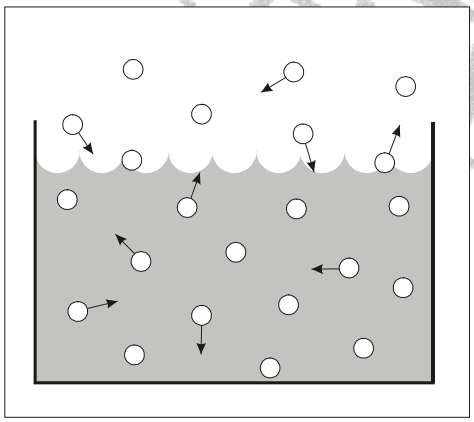
In 66 m Tiefe beträgt der **Sauerstoffdruck** bei Atmung von Pressluft 7,6 x 0,21 bar = 1,6 bar. Ab diesem Druck beginnt die Gefahr der „Sauerstoffvergiftung“. Wenn die Atemluft mit Sauerstoff angereichert wird, wie bei Verwendung von „Nitrox“, wird der Grenzwert des Sauerstoffdrucks früher erreicht. Die Gefahr einer Sauerstoffvergiftung besteht daher schon in geringerer Tiefe.

Da **bei großer Kälte** schon bei geringeren Sauerstoffdrücken ein Sauerstoffkrampf mit plötzlicher Bewusstlosigkeit auftreten kann, wird diese Grenze auf 1,4 bar vermindert. Bei Atmung von Pressluft wird dieser Wert in 56 m, bei reinem Sauerstoff bereits in 4 m Wassertiefe erreicht!

5.7. Gesetz von Henry:

Es besagt, dass Gase (z.B. Atemluft) unter Druck in Flüssigkeiten (und damit auch in durchbluteten Körpergeweben) löslich sind.

> Der Umgebungsdruck bewirkt, dass Gasmoleküle in angrenzende Flüssigkeiten eindringen (diffundieren).



Grafik 3: *Sättigung*

Die Gasteilchen bewegen sich durch ihre Wärmeschwingungen nach allen Seiten und „wandern“ (diffundieren) daher in beiden Richtungen durch die Wasseroberfläche.

Mit steigender Temperatur werden die Moleküle immer beweglicher und haben das Bestreben, sich wieder aus der Lösung zu befreien (Lösungsdruck). Mit der Zeit stellt sich der **thermische Gleichgewichtszustand der Sättigung** ein.

Sättigung heißt, dass pro Zeiteinheit gleich viele Gasteilchen aufgrund des Umgebungsdruckes in die Flüssigkeit diffundieren, wie aus ihr aufgrund der Wärmeschwingungen wieder austreten.

Wird der Umgebungsdruck verändert, so bewirkt der „Diffusionsprozess“, dass sich der Lösungsdruck des Gases in der Flüssigkeit (Körpergewebe) immer an den jeweiligen Druck des umgebenden Gases (Atemluft) angleicht.

Die Gasteilchen bewegen sich dabei immer vom Ort der höheren zum Ort der niedrigeren Konzentration.

Für den Taucher heißt das:

Während des Tauchgangs wird in den wasser- und besonders den fetthaltigen Geweben des menschlichen Körpers Inertgas gelöst. Der Gasdruck in den verschiedenen Geweben steigt an. Während des Aufstiegs und an der Oberfläche entweicht das Gas wieder und der Gasdruck in den Geweben nimmt ab.

Die Druckverminderung beim Aufstieg muss so langsam erfolgen, dass sich die im Blut vorhandenen mikroskopisch kleinen Gasbläschen (Mikrobläschen) nicht übermäßig vergrößern und aneinander lagern können. Wenn sich größere Gasbläschen im Blut bilden, steigt die Gefahr, dass Symptome einer Dekompressionskrankheit auftreten.

Tauchtabellen und Computer schreiben dem Taucher vor, wie er seinen Tauchgang durchführen muss, damit die während des Tauchgangs gelösten Inertgase wieder abgeatmet werden können ohne Blasen zu bilden. Bleibt der Taucher innerhalb der sog. „Nullzeit“, so könnte er theoretisch jederzeit – ohne weitere Pausen einhalten zu müssen – zur Oberfläche aufsteigen, wenn er die zulässige Aufstiegsgeschwindigkeit nicht überschreitet. Taucht er länger, so muss er den Aufstieg durch Einhaltung sog. „Dekompressionspausen“ (kurz „Dekopausen“ oder „Dekostopps“) unterbrechen und warten, bis seine Körpergewebe so viel Inertgas abgegeben haben, dass sie den Luftdruck an der Oberfläche schadlos „tolerieren“.

- In der Praxis sollte ein Taucher immer – auch bei Nullzeittauchgängen – sog. „Sicherheitsstopps“ einhalten, damit sich keine größeren Mengen von „Mikrobläschen“ bilden können und die bereits vorhandenen klein bleiben.

Die Gasaufnahme in die Gewebe wird durch die sog. Grundzeit und die Tauchtiefe, die Gasabgabe durch Aufstieg, Dekotiefen und Dekozeiten bestimmt.

Die Entstehung von Mikrobläschen wird durch das Einhalten von Sicherheitsstopps und die Anpassung der Aufstiegsgeschwindigkeit entscheidend beeinflusst.

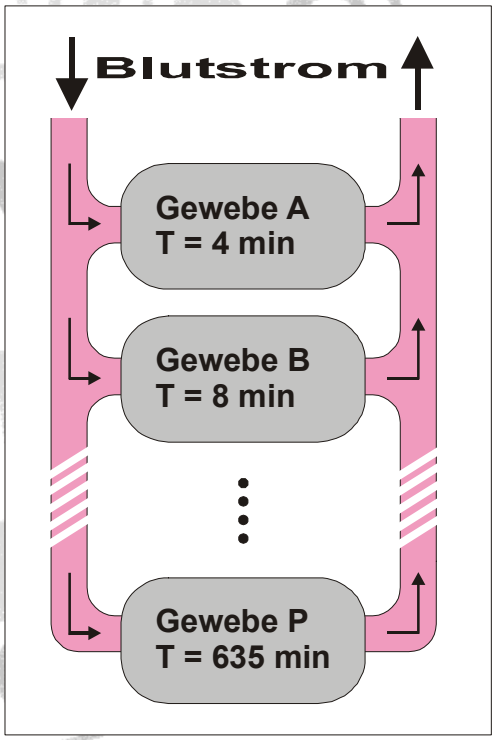
6. Gastheorien

6.1. Theorie der gelösten Gase (Gasdiffusion)

Sir John Scott Haldane schuf die Grundlagen für alle heutigen Tauchtabellen und Tauchcomputer, indem er als erster die Löslichkeit des Stickstoffs in unterschiedlichen menschlichen Geweben untersuchte. Er erkannte, dass die verschiedenen menschlichen Gewebe – je nach Durchblutung – den Stickstoff unterschiedlich schnell aufnehmen (= lösen) und wieder abgeben können und dass der gelöste Stickstoff für die Entstehung der Dekompressionskrankheit (früher „Caissonkrankheit“) verantwortlich ist.

> Für die Berechnungen wählte Haldane Modellgewebe (sog. „Kompartimente“), welche durch die Zeit charakterisiert wurden, in welcher sie sich bis zur Hälfte des maximal möglichen Stickstoffdrucks aufladen konnten (sog. „Halbwertszeit“).

Prof. Albert Bühlmann experimentierte mit verschiedenen Gewebetypen. Er stellte durch reelle Tauchgänge und Druckkammerversuche fest, dass jedes Gewebe abhängig vom Umgebungsdruck ein bestimmtes Übermaß an gelösten Inertgasen toleriert, ohne dass es zum „Ausperlen“ von Gasblasen kommt, die für die Entstehung von Symptomen der Dekompressionskrankheit (DCS = Decompression Sickness) verantwortlich gemacht werden.



Grafik 4: *Gewebemodell ZH-L12*

Weil Bühlmann seine Untersuchungen **nicht auf die Tiefe, sondern auf den jeweiligen Umgebungsdruck** (Druck der Atemluft) bezog, konnte er damit das Problem der Tauchgänge in Bergseen mathematisch lösen und es entstanden Tabellen für verschiedene Höhenbereiche.

16 unterschiedliche „Kompartimente“ A – P (statistische Gewebe) mit den Halbwertszeiten (T) von 4 bis 635 min werden in diesem Modell vom Blutstrom unterschiedlich schnell mit Inertgas aufgeladen und wieder entladen. Entscheidend dafür ist die jeweilige Durchblutungsgröße (Perfusion) der einzelnen „Gewebe.“

Den 16 „Kompartimenten“ sind 12 Koeffizientenpaare zugeordnet, mit welchen das Druckverhalten der Gewebe beschrieben wird.

Dieses sog. „ZH-L12-System“ von Bühlmann war das Rechenmodell für den ersten Bergsee-Tauchcomputer „Decobrain“ und wurde von vielen Tauchverbänden und Computerherstellern weltweit anerkannt, übernommen und auch weiterentwickelt.

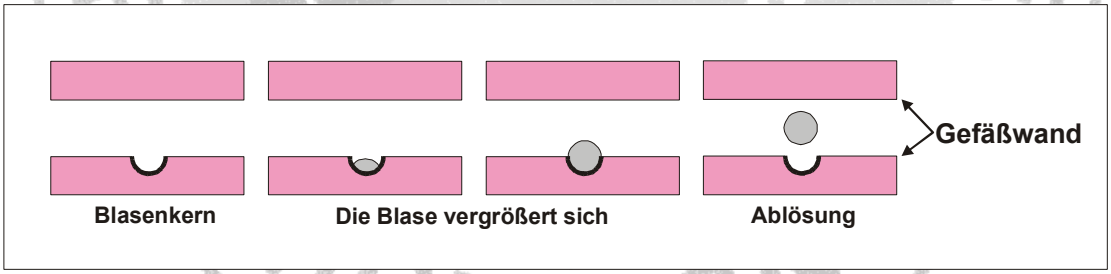
6.2.Theorie der Mikrobläschen

In verschiedenen Studien (u. a. von der internationalen Sicherheitsorganisation „Divers Alert Network, DAN“) wurde nachgewiesen, dass fast nach jedem konventionellen Tauchgang Mikrobläschen entstehen - auch dann, wenn die Dekompressionsvorschriften exakt eingehalten worden sind.

Mikrobläschen lassen sich mit einem Doppler-Detektor feststellen, wenn sie eine bestimmte Mindestgröße haben und sich im Blutstrom bewegen. Während des Aufstiegs, also bei Verminderung des Umgebungsdruckes, können sich in den Geweben kleinste Gasblasen bilden.

Da sie keinerlei Symptome erzeugen, werden sie auch als „silent bubbles“ (stille Bläschen) bezeichnet.

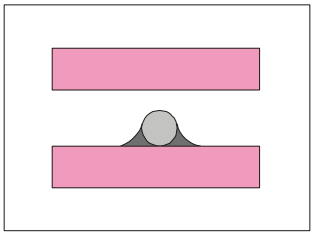
Stickstoff diffundiert aus den Geweben in kleinste Blutgefäße, wo sog. **„Blasenkerne“ an der Gefäßwand** zu wachsen beginnen (wie man es in einem Glas Bier beobachten kann). Wenn diese Mikrobläschen groß genug sind, lösen sie sich von der Gefäßwand ab und werden mit dem Blutstrom zum Herz und von dort in die Lunge geschwemmt. Dort werden sie „ausgefiltert“, d. h. sie werden in den Haargefäßen der Lunge wie in einem Filter zurückgehalten. Der Stickstoff diffundiert durch die Lungenbläschen und wird wieder abgeatmet. Wenn viele Bläschen eingeschwemmt werden, wird der Blasenabbau in der Lunge verlangsamt. Es gibt Taucher, welche bei identischen Tauchgängen fast keine Blasen erzeugen, während andere relativ große Blasenmengen entwickeln.



Grafik 5*: Mikrobläschen*

Bei **rascher Abnahme des Umgebungsdruckes** entstehen im Blut und in den Geweben Gasbläschen, die durch weiteres Einströmen von Stickstoff und durch druckabhängige Ausdehnung (Boyle-Mariotte!) größer werden und eine Entzündungsreaktion verursachen, weil sie von der Immunabwehr als „Fremdkörper“ erkannt und durch Abwehrzellen angegriffen werden.

Blutplättchen und Eiweißkörper lagern sich an die Bläschen an und bilden einen „Bläschenkomplex“, der zum Verschluss von Gefäßen führt. Die Durchblutung wird unterbrochen und – je nach betroffenem Organ – können Symptome einer DCS auftreten.



Grafik 6*: Kapillare*

Während der ersten Stunde nach dem Tauchgang (in der Oberflächenpause zwischen 2 Tauchgängen) entstehen am meisten Mikrobläschen. Nach 2 Stunden ist deren Zahl wieder zurückgegangen.

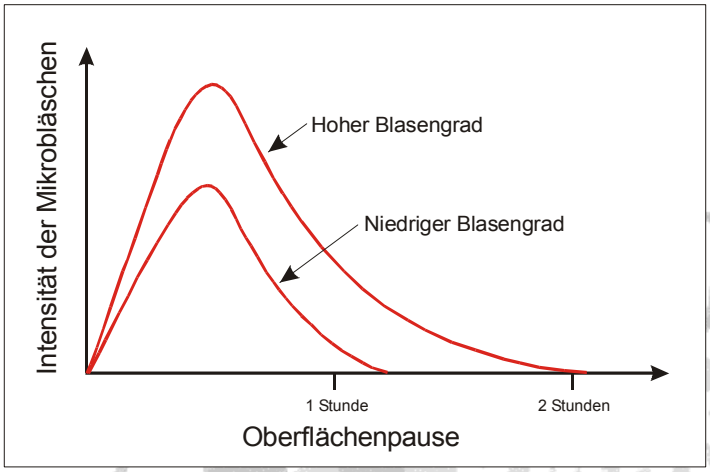


Diagramm 2: *Verteilung der Häufigkeit*

Prof. Marroni, Präsident von DAN Europe, entdeckte bei Untersuchungen des Aufstiegsverhaltens, dass durch „**extra tiefe Sicherheitsstopps**“ während des Aufstiegs die Anzahl der Bläschen reduziert werden kann.

Inertgas kann den menschlichen Körper schneller verlassen, wenn noch keine Mikrobläschen gebildet worden sind.

Je weniger Mikrobläschen, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass DCS-Symptome auftreten.

Bei Einhalten eines „tiefen Sicherheitsstopps“ in ca. 15 m Tiefe ist der Wasserdruck so hoch, dass das Inertgas in Lösung gehalten wird. Es kann zur Lunge transportiert und ausgeatmet werden, bevor es in größeren Mengen in Mikrobläschen diffundiert und diese vergrößert.

Gasbläschen können nach dem Tauchen manchmal „direkt“ beobachtet werden. Harte Kontaktlinsen verhindern den Gasaustausch des Auges mit der Umgebung weitgehend. Einzelne Taucher, welche mit konstanter Aufstiegsgeschwindigkeit in geringe Tiefen aufsteigen, sehen bis zu 1 ½ Stunden nach dem Tauchgang alles trüb, weil sich Mikrobläschen gebildet haben, die sich hinter den undurchlässigen harten Kontaktlinsen nur sehr langsam auflösen können.

Hält der Taucher den tiefen Stopp ein, wird das gelöste Gas abgebaut, bevor es in die freie Gasphase (Bläschen) übergeht. Die Trübung tritt dann auch bei harten Kontaktlinsen deutlich seltener auf.

7. Gewebe / Kompartimente (Wiederholung aus „Dekompression“)

Das Blut dient als Transportmittel für die Atemgase zwischen der Lunge und den Körpergeweben. Je nach Durchblutungsgröße können menschliche Gewebe schneller oder langsamer mit Inertgasen aufgeladen werden und diese auch wieder abgeben. Da die individuellen Unterschiede groß sind, rechnet und experimentiert man, wie schon erwähnt, mit **Modellgeweben = Kompartimenten,** denen man wiederum menschliche Gewebe zuordnen kann. Jedes der 16 Kompartimente muss als eigenes System betrachtet werden. Auch das Blut selbst gilt oft als eigenes Kompartiment.

Wird die Gesamtzahl der Kompartimente einem erhöhten Druck ausgesetzt und dauert die Druckeinwirkung lange genug, so werden alle Kompartimente unterschiedlich schnell auf den herrschenden Druck aufgeladen (= gesättigt).

> Im Zustand der Sättigung ist der Lösungsdruck der Inertgase im Gewebe gleich groß wie ihr Partialdruck im Atemgas. Wird der Umgebungsdruck reduziert, so wird gelöstes Gas aus dem Gewebe abgegeben und es stellt sich wieder ein neuer Gleichgewichtszustand ein.

7.1. Beispiel für Entsättigung und Halbwertszeit

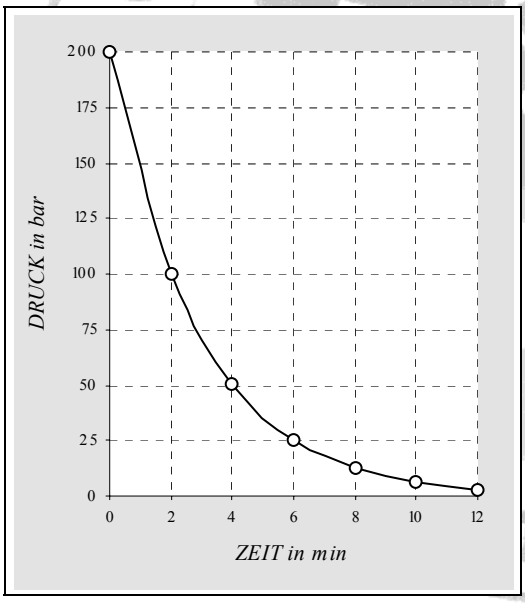


Diagramm 3: *Entsättigung und Halbwertszeit*

Wir messen den Druck einer vollen Tauchflasche und drehen das zweite Ventil ein bestimmtes Maß auf.

Wir beobachten z. B., dass der Druck innerhalb von 2 min von 200 bar auf 100 bar fällt. Nach weiteren 2 min fällt er auf 50 bar, nach weiteren 2 min auf 25 bar usw.

Die Druckabnahme wird immer langsamer. Nach 10 min entweicht immer noch ein bisschen Luft.

> Unsere Tauchflasche hat bei dieser Ventilstellung die Eigenschaft eines Kompartiments mit der Halbwertszeit (T) für Luft von 2 min.

In der ersten Periode der Halbwertszeit (2 min) sinkt der Druck auf die Hälfte des Flaschendruckes, in der zweiten auf die Hälfte des verbliebenen Wertes usw., **bis nach 6 Perioden der Druck 6 mal halbiert wurde** und der Umgebungsdruck annähernd erreicht worden ist. Die weiteren Änderungen werden dann so gering, dass man sie in der Praxis vernachlässigen kann. Nach 6 Perioden ist die Anpassung an den Umgebungsdruck zu 98 % erfolgt. Das Gewebe gilt dann in der Praxis als „angepasst“.

Umgekehrt könnte man sich in der Flasche ein Vakuum vorstellen. Sobald das Ventil geöffnet wird, strömt die Luft mit der gleichen Gesetzmäßigkeit in die Flasche. In 2 min steigt der Druck in der Flasche auf den halben Umgebungsdruck (= atmosphärischer Druck). **Die Druckdifferenz wird innerhalb von 2 min jeweils halbiert.** Der Innendruck passt sich an den Außendruck an.

7.2. Beispiel für die Sättigung

Zwei Kompartimente mit einer Halbwertszeit für Luft von T = 4 min und 8 min werden von der Oberfläche auf 40 m Tiefe gebracht.

⇒ Der **Anfangsdruck der Kompartimente** beträgt an der Oberfläche 1 bar

⇒ Der neue **Umgebungsdruck** in 40 m beträgt 5 bar.

⇒ Die **Druckdifferenz** beträgt daher 4 bar.

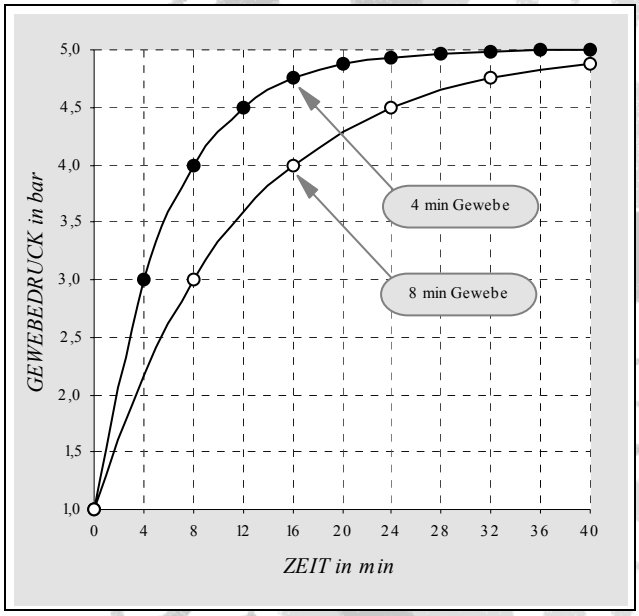


Diagramm 4: *Sättigung des 4- und 8 min Gewebes*

Der Gasdruck im 4 min- Kompartiment steigt innerhalb von 4 min auf die „Hälfte“ des höchstmöglichen Wertes. **Genau genommen wird die Differenz zwischen Umgebungs- und Gewebedruck halbiert.**

Innerhalb von weiteren 4 min wird die Druckdifferenz wieder halbiert usw. Nach 6 T = 24 min sind 98 % des neuen Gewebedrucks erreicht.

Das „langsamere“ 8 min- Kompartiment benötigt dazu, wie die zweite Linie zeigt, jeweils die doppelte Zeit.

Es gilt die gleiche Gesetzmäßigkeit wie vorhin bei der „Entsättigung“ (7.1.) beschrieben wurde. Einmal ist die Differenz zwischen dem Umgebungsdruck und dem Gewebedruck positiv, einmal negativ. Einmal steigt der Gewebedruck an, das andere Mal sinkt er.

Der Gewebedruck passt sich an den steigenden oder fallenden Umgebungsdruck an.

Im Diagramm sind nur 2 Gewebe mit kurzen Halbwertszeiten dargestellt. Der menschliche Körper besteht jedoch nicht nur aus „schnellen“, sondern auch aus wesentlich „langsameren“ Geweben und nur die Gesamtheit aller Gewebe ermöglicht die Beurteilung, wie weit deren Sättigung während eines Tauchganges fortgeschritten ist. Der Sättigungszustand der Gewebe ist aber nicht nur für den laufenden, sondern auch für darauf folgende Tauchgänge wichtig. Bühlmanntabellen geben daher als **Wiederholungsgruppe** einen **Gewebecode (Kompartimente A-P)** an.

7.3. Der „tolerierte Umgebungsdruck“ von Bühlmann

Prof. Bühlmann experimentierte mit 16 Gewebetypen mit Halbwertszeiten von 4 – 635 min. Er wies nach, dass wenig durchblutete „langsame“ Gewebe (mit langen Halbwertszeiten) weniger Inertgas tolerieren (in Lösung halten können) als stark durchblutete „schnelle“ Gewebe. Er berechnete, bis zu welcher minimalen Tiefe (= tolerierter Umgebungsdruck) ein Taucher (ohne Symptome einer DCS) aufsteigen darf, wenn seine Gewebe auf einen bestimmten Inertgasdruck „aufgeladen“ worden sind.

> Erst wenn der „tolerierte Umgebungsdruck eines Gewebes“ **unterschritten** wird, weil der Taucher zu weit aufgestiegen ist oder weil der Luftdruck an der Oberfläche zu gering ist, kann dieses Gewebe das Gas nicht mehr in Lösung halten und es bilden sich Bläschen.

Je höher der Tauchplatz liegt, desto geringer wird der Luftdruck, den jedes einzelne Gewebe tolerieren muss.

> Damit der tolerierte Umgebungsdruck am Bergsee **nicht unterschritten** werden kann, muss die Dekompression bei höherem Umgebungsdruck (in vergrößerter Dekotiefe) begonnen werden.

Auch die Nullzeiten werden in Bergseen kürzer als im Meer. Die Gewebe können in Bergseen aufgrund des geringeren Luftdruckes weniger Stickstoff in Lösung halten und dürfen daher weniger weit (= nicht so lange) aufgeladen werden.

Wenn man die Annäherung an den „tolerierten Umgebungsdruck“ während des Aufstieges durch einen „tiefen Sicherheitsstopp“ unterbricht, wird so viel Gas in den Geweben abgebaut, dass die an und für sich **tolerierten Druckgrenzen nicht mehr erreicht** werden können. Die Zahl der Mikrobläschen wird dadurch reduziert.

Mit Computern kann man die Annäherung an den (minimalen) tolerierten Umgebungsdruck verhindern, wenn man im Anschluss an den „tiefen Sicherheitsstopp“ 1 – 2 m tiefer als die vom Computer angezeigte Dekostufe austaucht. Man beginnt 2 m tiefer und nähert sich in 1 oder 2 min langsam an die angezeigte Dekostufe bzw. die Oberfläche. Die Annäherung an die angezeigten Dekotiefen sowie an die Wasseroberfläche sollte langsam erfolgen, weil die Entsättigung der für die Bläschen verantwortlichen Gewebe auch nur langsam vor sich geht!

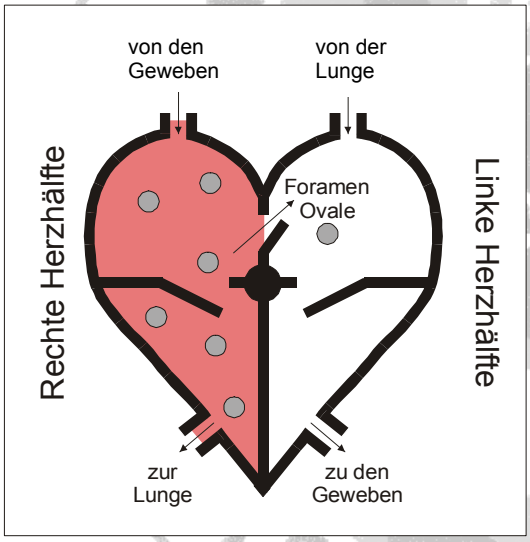
> DAN hat erstmals die Aufstiegsphase untersucht und publiziert, dass Mikrobläschen vermieden werden, wenn man nicht weiter als auf 80 % des jeweils zulässigen, maximalen „Gewebeüberdrucks“ aufsteigt. Man beginnt die Dekompression bereits in halber Tauchtiefe mit einem tiefen Stopp und taucht tiefer aus, als der Computer angibt.

8. Austauchvorschriften:

Eine „Dekotabelle“ ist eine Austauchvorschrift, welche eine ausreichende, jedoch nicht überlange Dekompression gewährleisten soll, damit ein Unfallrisiko für den „durchschnittlichen“ Taucher sehr gering gehalten werden kann.

Dekotabellen schreiben Nullzeiten, Dekotiefen, Dekozeiten und eine Reihe weiterer Daten vor, die erforderlich sind, um mehrere Tauchgänge pro Tag (Wiederholungstauchgänge) zu planen. Meistens wird die einzuhaltende Aufstiegsgeschwindigkeit angegeben, oft auch der gültige Höhenbereich. Für die Planung von Tauchgängen ist es sinnvoll, das Arbeiten mit Tauchtabellen zu erlernen. (Um die Tabellen unter Wasser einsetzen zu können, würde man zusätzlich eine Tauchuhr und einen Tiefenmesser benötigen).

Tauchcomputer ersetzen während eines Tauchgangs Tiefenmesser, Uhr und Tabelle. Sie messen laufend Tiefe und Zeit. Sie berechnen daraus alle „Austauchvorschriften“ und zeigen die Dekoinformationen am Display an. Sie haben in der Praxis des Sporttauchens den Tabellen längst den Rang abgelaufen. Obwohl es bei den zahlreichen Computermodellen große Unterschiede gibt, wird deren Anwendung insgesamt als sicher angesehen. Daher haben auch viele Taucher „blindes“ Vertrauen zu diesen Geräten. Eine Einschulung auf das jeweilige Modell ist unbedingt erforderlich.



Grafik 7: *"Offenes Foramen Ovale"*

In der Realität können aber weder Tabellen noch Computer einen absoluten Schutz vor Symptomen einer DCS garantieren, weil für deren Entstehung noch zahlreiche andere Faktoren existieren, die von diesen Hilfsmitteln nicht erfasst werden. Dazu zählen z. B. Flüssigkeitsmangel, Medikamentenkonsum, körperliche Belastung, Kälte, Flüge oder Fahrten über höher gelegene Pässe nach dem Tauchen oder aber auch körperliche Besonderheiten, wie z. B. ein „offenes Foramen Ovale“ (PFO).

Das „Foramen Ovale“ ist eine Verbindung der beiden Vorhöfe des Herzens, welche der Sauerstoffversorgung des ungeborenen Kindes dient, da dieses noch nicht selbständig atmet. Bei ca. 30 % der Menschen (also auch der Taucher) schließt sich dieses „Foramen Ovale“ nach der Geburt nicht ganz. Für den Alltag spielt diese „Naturvariante“ keine Rolle. Anders ist es jedoch beim Tauchen: Durch Anstrengungen wie z. B. Pressdruck oder Husten am Ende eines Tauchganges können im venösen Kreislaufschenkel befindliche Gasbläschen durch diesen „Kurzschluss“ im Herzen statt in die Lunge direkt in den arteriellen Kreislauf gelangen und dort Gefäßverschlüsse (sog. „Embolien“) verursachen.

DAN empfiehlt daher den Aufstieg „blasenarm“ zu gestalten, indem man einen „tiefen Sicherheitsstopp“ einhält und den Aufstieg in Oberflächennähe verlangsamt.

Zu den „Austauchvorschriften“ im erweiterten Sinn gehören auch **Tauchpausen** zwischen Widerholungstauchgängen, nächtliche Pausen und Pausen an jedem 3. oder 4. Tag, welche sicherstellen, dass die Inertgasbelastung langsamer Gewebe nicht zu groß wird und wieder abgebaut werden kann.

9. Faktoren, welche die Dekompression beeinflussen

- **Große Kälte**:

  Sie erhöht anfänglich die Lösung von Inertgas in Haut und Muskulatur, vermindert in weiterer Folge jedoch deren Durchblutung und damit den Abtransport der Inertgase während der Aufstiegsphase. Das Gas bleibt im Fettgewebe unter der Haut länger „gefangen“. Kälte erfordert eine längere Dekompression, weil die Inertgasabgabe langsamer wird.

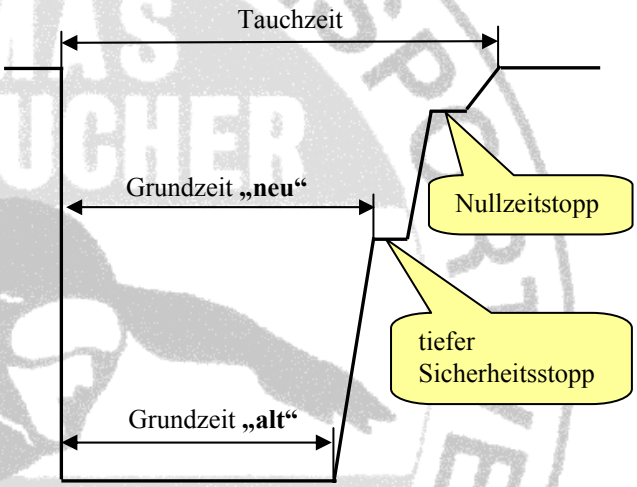
- **Starke körperliche Anstrengung**:

  Sie verstärkt die Durchblutung und damit die Aufladung der Gewebe während des Tauchgangs. Erhöhte Arbeitsleistung wirkt sich aus, wie ein verlängerter Tauchgang.

- **Tauchzeit / Grundzeit**:

  Unter **„Tauchzeit“** versteht man die gesamte unter Wasser verbrachte Zeit, also vom Verlassen bis zum Wiedererreichen der Oberfläche.

  Als **„Grundzeit“** wurde der Zeitraum vom Beginn des Abstieges bis zum Beginn des Aufstiegs definiert. Die Grundzeit endete mit dem Verlassen des Grundes nach einem sog. „Rechtecktauchgang“. Dieses Tauchprofil ist für Berufstaucher typisch, kommt aber beim Sporttauchen nur selten vor.

  Mit der Einführung des „tiefen Sicherheitsstopps“ wurde die **„Grundzeit“** als Zeit vom Abtauchen bis zum Erreichen dieses Stopps (in 15 m bzw. halber Tauchtiefe) **neu definiert**, da die stärkste Aufsättigung der Gewebe in dieser Tauchphase erfolgt**.** Die so ermittelte Zeit ist immer länger als die – nach der alten Definition – eingehaltene Grundzeit und bietet dadurch eine **zusätzliche Sicherheit**.

- **Tauchtiefe**:

  Für die Planung wählt man aus Sicherheitsgründen die größte, während des Tauchgangs aufzusuchende Tiefe.

- **Aufstiegsgeschwindigkeit für Sporttaucher**:

  In großer Tiefe erscheint eine größere Geschwindigkeit möglich, damit sich langsamere Gewebe während des Aufstieges nicht noch weiter aufsättigen. In geringen Tiefen soll eine möglichst geringe Aufstiegsgeschwindigkeit die Bildung und Vergrößerung von Mikrobläschen verhindern. Moderne Tauchcomputer lassen daher tiefenabhängige Aufstiegsgeschwindigkeiten von 20 bis 7 m pro min zu.

  Neuere Messungen von DAN haben ergeben, dass die **geringste Blasenentwicklung** bei Tauchgängen mit Luft oder sauerstoffangereicherter Luft (Nitrox) auftritt, wenn der Aufstieg (vom Grund in 25 m weg bis 5 m Tiefe) mit **10 m/min** erfolgt. Der Aufstieg von der

letzten Dekostufe oder vom 5 m Nullzeitstopp zur Wasseroberfläche muss „bewusst langsam“ sein (Halbierung der Aufstiegsgeschwindigkeit auf **etwa 5 m/min ≈ 8 cm/sec**). Der Aufstieg wird durch **Sicherheitsstopps** unterbrochen.

- **Sicherheitsstopps für Sporttaucher**:

  Der **erste Stopp** ist ein „tiefer Stopp“ zur Rückbildung von Mikrobläschen. Er wird in etwa 15 m oder in halber Tauchtiefe eingehalten, wenn diese geringer als 30 m war. Der Taucher liest beim Erreichen dieses Stopps seine Instrumente ab, bestimmt seine „Dekoreserve“ und allfällige Dekopausen.

Der tiefe Stopp dauert 3 min.

Die Wahrscheinlichkeit der Blasenbildung am Ende eines Tauchgangs nimmt mit dessen maximaler Tiefe zu. **Wiederholungstauchgänge erzeugen besonders viele Mikrobläschen**, daher ist der tiefe Stopp hier besonders wichtig.

Der traditionelle **zweite Stopp** in 5 m verlangsamt die Annäherung an den Luftdruck nach Nullzeittauchgängen. Dieser Nullzeitstopp bildet einen „Umschaltpunkt“, bei dem die weitere Aufstiegsgeschwindigkeit halbiert wird.

Der Nullzeitstopp dauert 3 – 5 min.

Zeitzuschläge zu den Sicherheitsstopps sind individuelle Erfahrungswerte und dienen der Vermeidung von Symptomen einer Dekompressionskrankheit z. B. nach Kälteexposition, körperlicher Anstrengung, nach vermehrtem Flüssigkeitsverlust (Erbrechen, Durchfall, Medikamenteneinnahme, zu geringen Trinkmengen) und Tauchern, die empfindlich oder übergewichtig sind. Auch „ältere Semester“ sollten ihre Sicherheitsstopps verlängern. Bei wiederholten, kurzen Abstiegen, wie etwa beim Setzen von Bojen müssen bei allen Aufstiegen – auch innerhalb der Nullzeit – Sicherheitsstopps eingelegt werden.

Computer können nicht jedes Risiko anzeigen!

Ein Computer registriert nicht, ob sich ein Taucher vor oder nach dem Tauchgang physisch anstrengt. Er berücksichtigt auch keine Faktoren wie z. B. Alter, Übergewicht, schlechte körperliche Verfassung, Flüssigkeitshaushalt, Medikamentenkonsum, Schlafmangel, ein „offenes Foramen Ovale“ und andere Abweichungen von einem gesunden, „durchschnittlichen“ Taucher.

Jeder sollte erkennen, welche individuellen Risiken für ihn vorliegen und diesen durch geeignetes Verhalten begegnen!

Weitere Faktoren, die das Auftreten von Symptomen einer DCS begünstigen und weder von Computern, noch Tabellen berücksichtigt werden können, sind:

- „Wiederholungstauchgänge" nach **kurzer Oberflächenpause.**
- Kurze, anstrengende, tiefe (Wiederholungs-) Tauchgänge begünstigen die Bläschenbildung. Dem „tiefen Sicherheitsstopp" kommt hier eine besondere Bedeutung zu!
- **Neuerlicher Abstieg** nach einem Tauchgang (auch ohne Tauchgerät!) mit anschließendem raschem Aufstieg, z. B. um den verklemmten Anker zu lösen. Durch die neuerliche Druckzunahme werden die **Gasbläschen im „Lungenfilter" komprimiert** und können dadurch in den arteriellen Kreislaufschenkel gelangen. Beim Aufstieg dehnen sich die Bläschen aus, können Arterien verschließen und Symptome eines Tauchunfalls bedingen.
- Jede **sportliche Betätigung** nach dem Tauchen (auch Freitauchen!) verstärkt die Ablösung von Mikroblasen.
- **Flüssigkeitsmangel** führt zur „Eindickung" des Blutes und erschwert die Inertgasabgabe. Bei einem durchschnittlichen Tauchgang können **bis zu 2 Liter** Flüssigkeit (hauptsächlich durch vermehrte Harnproduktion, Schwitzen und Befeuchtung des trockenen Atemgases) verloren gehen. Der Flüssigkeitsverlust wird durch Kälte, Erbrechen, Durchfall, harnproduzierende Nahrungsmittel (Kaffee, Tee, Alkohol!) evtl. durch Medikamente zusätzlich begünstigt. Es muss daher **unbedingt auf eine ausreichende Flüssigkeitszufuhr zwischen den Tauchgängen** geachtet werden. Bei Erkrankungen darf nicht getaucht werden.
- Besonders übergewichtige Taucher müssen damit rechnen, dass in ihrem Unterhautfettgewebe mehr Gas gelöst wird, welches verzögert abgeatmet wird. Allerdings sind sie gegen Kälte besser geschützt als schlanke Taucher. Ein Zeitzuschlag beim zweiten Sicherheitsstopp ist daher theoretisch vorteilhaft.
- Sehr schlanke Taucher mit wenig Fettgewebe frieren hingegen rascher und setzen aufgrund geringerer „Stickstoffspeicher" das gelöste Gas schneller aus den Geweben frei. Sie profitieren daher theoretisch besonders vom ersten, „tiefen" Sicherheitsstopp.
- Fortgeschrittenes Alter verändert die menschlichen Gewebe. Ob sich daraus ein höheres Risiko für einen Tauchunfall ergibt, ist bis heute noch nicht erwiesen.

Empfehlungen zur Vermeidung von Dekounfällen:

- Führe nicht mehr als drei Tauchgänge pro Tag durch.
- Warte nach einem Tauchtag mindestens 12 Stunden (nächtliche Pause nach 3 Tauchgängen), bevor du den nächsten Tauchgang beginnst.
- Halte an jedem 3. bis 4. aufeinander folgenden Tauchtag eine Tauchpause ein, denn es hat sich gezeigt, dass exzessives Tauchen in einzelnen Fällen eine ausreichende Inertgasentsättigung verhindert und eine Druckkammerbehandlung erforderlich macht.
- Halte zwischen Tauchgängen Oberflächenpausen von 2 Stunden ein, auch wenn manche Dekotabellen sehr kurze Pausen angeben.
- Führe zuerst die tiefen und dann die flacheren Tauchgänge durch, wenn du mehrere Tauchgänge planst. Tauchgänge in ansteigende Tiefen bedingen eine stärkere Inertgasaufsättigung der Gewebe.
- Vermeide während eines Tauchganges wiederholte Aufstiege in geringe Wassertiefen („Jojo- Tauchen“).
- Vermeide Überschreitungen der jeweiligen max. Aufstiegsgeschwindigkeit. Halte die Sicherheitsstopps ein.
- Tauche konservativ. Berücksichtige starke körperliche Anstrengung, Kälte, Lebensalter, Übergewicht, indem du die Sicherheitsstopps verlängerst.
- Achte auf eine **ausreichende Flüssigkeitszufuhr**.
- Vermeide nach dem Gerätetauchen für mindestens 2 Stunden körperliche Anstrengungen.
- Unterlasse Freitauchübungen nach Tauchgängen mit Gerät.
- Verzichte am ersten und letzten Tag des Urlaubs auf das Tauchen.
- Beachte die Wartezeit zwischen dem letzten Tauchgang und einem geplanten Flug. Das Intervall soll 12 – 24 Stunden betragen **(Computeranzeige bzw. Tabellenwerte beachten)**.
- Achte bei Flügen auf **regelmäßige Bewegung und ausreichende Trinkmengen**. Der Bewegungsmangel, die lange unveränderte, abgewinkelte Position der Beine und die trockene Luft in der Kabine begünstigen eine gefährliche Bildung von Blutgerinnseln (Thrombose) in den Beinvenen.

10. Druckänderungen während des Tauchgangs

Im folgenden Diagramm wurde der prinzipielle Druckverlauf einzelner Gewebe (des ZH-L12-Systems von Bühlmann) während eines einfachen Tauchgangs dargestellt, damit man den Unterschied zwischen „langsamen“ und „schnellen“ Geweben erkennen kann.

Der Abstieg von (A) nach (B) erfolgt mit höchstmöglicher Geschwindigkeit (sprunghaft). Der Taucher bleibt 30 min in der gleichen Tiefe (bis C). Anschließend steigt er langsam auf 6 m auf (D) und hält sich dort weitere 10 min auf (E), bevor er wieder zur Oberfläche (F) zurückkehrt.

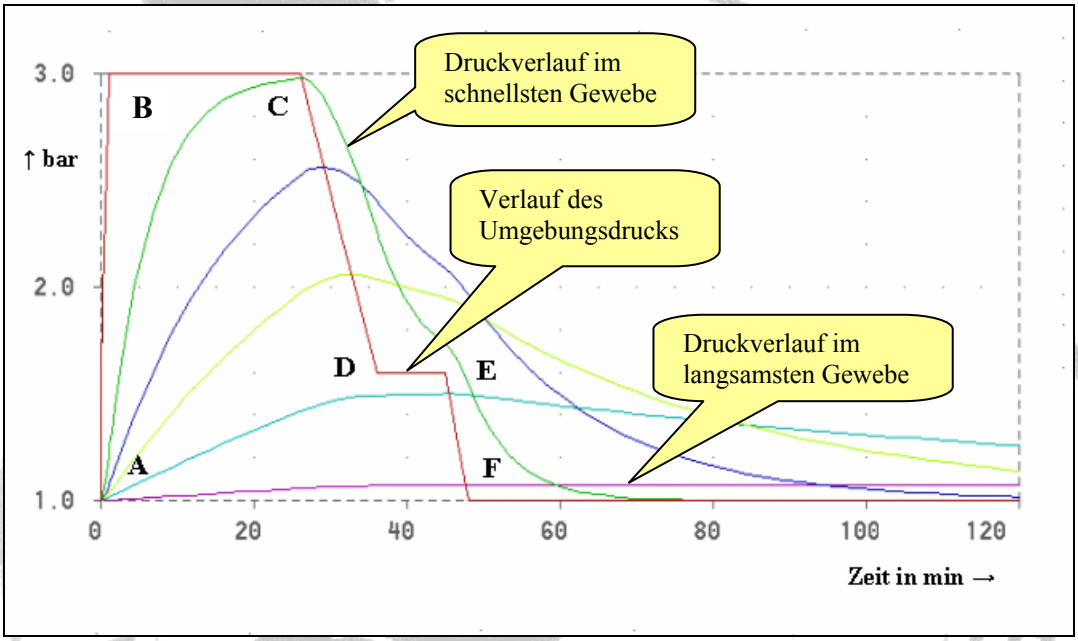


Diagramm 4: *Verlauf der Gewebedrücke*

Das schnellste Gewebe (oberste Kurve) ist während dieses Tauchgangs „gesättigt“ worden und gibt beim Aufstieg das Inertgas als erstes wieder ab.

Der Gasdruck des langsamsten Gewebes (unterste Kurve) ist während des Tauchgangs nur geringfügig angestiegen. Er bleibt aber auch nach dem Ende des Tauchgangs für sehr lange Zeit bestehen.

Mittlere Gewebe sind unterschiedlich weit mit Gas aufgeladen worden. Sobald beim Aufstieg der Umgebungsdruck kleiner wird als einer der Gewebedrücke, beginnt die Entladung. Der Partialdruck des Gases im Gewebe sinkt langsamer als er angestiegen ist.

> Die größte Aufsättigung erfolgt in der Zeit von A bis D, vom Beginn des Abstieges bis zum Erreichen des „tiefen Sicherheitsstopps“.

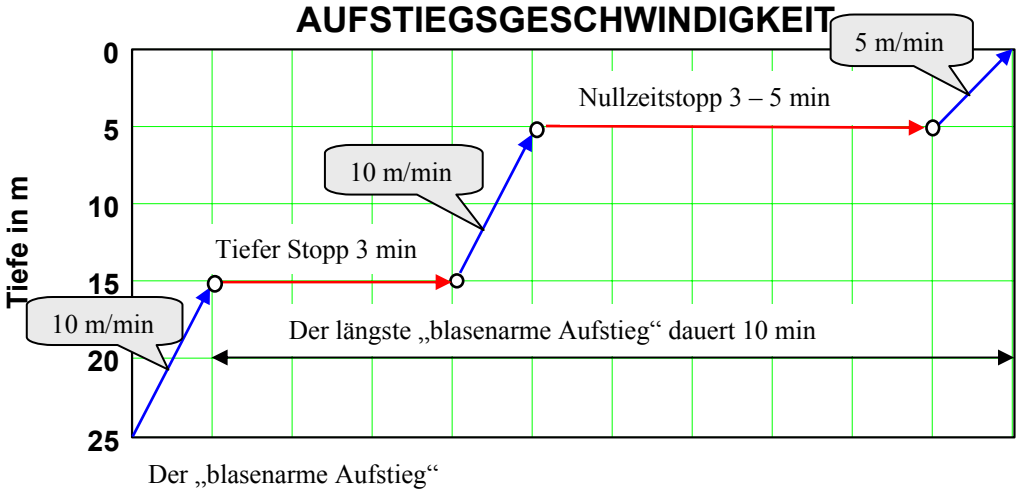
Diese Zeit wird daher als **„Grundzeit“** neu definiert. Sie dient zur Planung der Dekompressionsschritte. Als **„Tauchtiefe“** gilt die größte erreichte Wassertiefe.

10.1. Aufstiegsgeschwindigkeit

Beim Aufstieg beginnt die Entsättigung eines Gewebes, **sobald der Umgebungsdruck geringer ist als der Gasdruck im Gewebe**. Wenn der Umgebungsdruck sinkt, beginnen sich „schnelle“ Gewebe zu entsättigen, während die „langsamen“ immer noch aufgeladen werden. Die langsamsten Gewebe werden sogar noch während der Sicherheitsstopps mit Gas angereichert.

- In „schnellen“ Geweben herrscht aufgrund der raschen Gasaufnahme ein größerer Gasdruck. Aus diesem Grund beginnt deren Entsättigung beim Aufstieg auch schon in größerer Tiefe. Schnelle Gewebe tolerieren eine größere Aufstiegsgeschwindigkeit, weil sie sich an Druckänderungen relativ schnell anpassen. Einige Tauchcomputer erlauben daher beim Aufstieg aus größerer Tiefe höhere Geschwindigkeiten (bis zu 20 m/min).
- „Langsame“ Gewebe erreichen nur geringe Inertgasdrücke. Die Entsättigung beginnt daher erst in geringer Tiefe, **da der Umgebungsdruck kleiner sein muss als der Gewebedruck**. Langsame Gewebe können sich nicht so schnell an Druckänderungen anpassen. Die Aufstiegsgeschwindigkeit muss daher in geringer Tiefe vermindert werden.
- Neuere wissenschaftliche Erkenntnisse haben gezeigt, dass eine deutlich geringere Zahl von Gasbläschen im strömenden Blut nachgewiesen werden kann, wenn auch in größeren Tiefen (25 m) eine konstante Aufstiegsgeschwindigkeit vom 10 m/min eingehalten wird, die erst in Oberflächennähe reduziert wird.

Es wird daher ein kontinuierlicher Aufstieg mit 10 m/min und das Einhalten eines tiefen Sicherheitsstopps von 3 min in 15 m bzw. in halber Tauchtiefe empfohlen. Dadurch kann die Zahl der Mikrobläschen verringert werden.



Der „blasenarme Aufstieg“

- Die Verminderung der Aufstiegsgeschwindigkeit in Oberflächennähe auf 5 m/min entspricht dem verminderten Luftdruck über Bergseen.

10.2. Sicherheitsstopps – Levelstopps:

- Der „tolerierte Umgebungsdruck“ bildet den Grenzwert für die Tiefe, bis zu welcher aufgestiegen werden darf. In diesem Grenzwert wird der höchstzulässige Inertgasüberdruck eines Gewebes erreicht. Der **tiefe Stopp** baut diesen Überdruck schon vorher ab. Der Grenzwert schneller Gewebe wird nicht mehr erreicht und es werden große Mengen von Mikrobläschen vermieden.
- Der **traditionelle Nullzeitstopp** in 5 m Tiefe verlangsamt noch einmal sehr wirksam die Annäherung an den atmosphärischen Druck an der Oberfläche. Der Nullzeitstopp hat sich zur Vermeidung von Mikrobläschen **wesentlich wirksamer** erwiesen, als eine sehr geringe Aufstiegsgeschwindigkeit von beispielsweise 3 m/min.

Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass durch mehrfache „tiefe Sicherheitsstopps“ in abnehmenden Dekotiefen („level stops“) die Bildung von Mikrobläschen reduziert wird. Einzelne Dekompressionsprogramme verwenden sog. **„Gradientenfaktoren“** um diese tiefen Stopps zu generieren.

Prof. Bennett (DAN) empfiehlt einen Sicherheitsstopp von 5 min in 15 m Wassertiefe oder halber Tauchtiefe und erwartet sich dadurch einen **deutlichen Rückgang der derzeitigen „statistischen Häufigkeit“ von Dekounfällen** und in weiterer Folge eine radikale Veränderung von zukünftigen Dekotabellen und Computerprogrammen.

Schnelle Gewebe werden während des tiefen Sicherheitsstopps bereits entsättigt, während sich langsame Gewebe immer noch aufsättigen.

> Der Aufenthalt in 15 m oder „halber Tiefe“ am Ende eines Tauchgangs würde die Dekozeit erst nach 10 bis 15 min verlängern und muss somit nicht zur „Grundzeit“ dazugezählt werden.

10.3. Nullzeit

Bei einem Tauchgang innerhalb der sog. „Nullzeit“ werden von einer Tauchtabelle oder von einem Computer keine Dekompressionspausen vorgeschrieben. In der Nullzeit wird ein Gewebe in der angegebenen Tiefe auf den höchstzulässigen Inertgasdruck aufgeladen. Alle Gewebe sollten rechnerisch einen direkten Aufstieg zur Oberfläche und damit die Verminderung des Umgebungsdruckes bis zum jeweiligen atmosphärischen Druck tolerieren.

> Die Nullzeit hängt daher vom Luftdruck (in Bergseehöhe) und von der Tauchtiefe (Druckdifferenz) ab. Sie wird umso kürzer, je höher der Tauchplatz liegt und je tiefer der Tauchgang ist.
>
> **Jedes Gewebe hat eine andere Nullzeit.**

Das Gewebe mit der kürzesten Nullzeit wird als „Leitgewebe“ bezeichnet und bestimmt die Nullzeit des Tauchers in der jeweiligen Tiefe.

Die Nullzeit entspricht der längst möglichen Grundzeit innerhalb der noch keine Dekompressionspflicht entsteht und das ist **die Zeit vom Beginn des Abstieges bis zum Erreichen des tiefen Sicherheitsstopps** (entsprechend Diagramm 4, A – D). Die Gewebesättigung ist so weit fortgeschritten, dass der Oberflächendruck gerade noch von allen Geweben toleriert wird. Die Nullzeit kann von Tabellen oder Computern abgelesen werden.

Wie schon erwähnt, wird die Nullzeit durch den verminderten Luftdruck auf Bergseeniveau verkürzt. Es erfolgt darüber hinaus eine weitere Verkürzung, weil der in den „langsamen" Geweben gelöste Stickstoff **während des Aufstiegs zum Bergsee** nicht rasch genug abgeatmet wird und dadurch der Tauchgang im Bergsee mit einem erhöhten Anfangsdruck begonnen wird (man könnte sagen, die langsamen Gewebe haben ihren Druck vom Tal zum Bergsee mitgenommen). Man muss beachten, dass somit schon **der erste Tauchgang in einem Bergsee Ähnlichkeit mit einem sog. „Wiederholungstauchgang"** (siehe 11.2) bekommt.

Der „blasenarme Aufstieg" wird auch in der Nullzeit empfohlen.

Es gilt der Grundsatz: „No bubbles – no troubles" (keine Blasen – kein Problem)

Der durch den Tauchgang in der Nullzeit entstandene Gewebedruck wird an der Oberfläche durch Atmung von atmosphärischer Luft wieder abgebaut. Während sich schnelle Gewebe innerhalb einer Stunde auf ihren Anfangsdruck entsättigen, bleibt in „mittleren" und langsamen Geweben über längere Zeit ein **Rest-Stickstoffdruck** erhalten. Dieser Rest-Stickstoffdruck entspricht der noch vorhandenen Gasmenge im Leitgewebe und wird in Form der „**Rest-Stickstoff-Zeit"** bei einem nachfolgenden Tauchgang berücksichtigt. Die Nullzeit eines Wiederholungstauchgangs wird um diese „Rest-Stickstoff-Zeit" verkürzt.

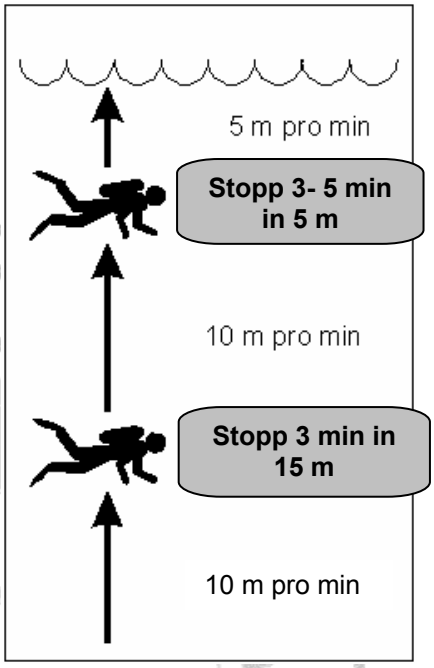
Je größer die Tiefe, desto größer werden die Drücke schneller Gewebe. Die Grenzen der Nullzeit werden somit schnell erreicht und die Nullzeiten in großen Tiefen sind kurz. Auch die Nullzeit des Folgetauchgangs wird von der Tiefe bestimmt.

11. Tauchgänge

11.1. Nullzeittauchgänge

Nützt man die gesamte Nullzeit aus, so ist die Inertgasbelastung des am stärksten „belasteten“ Gewebes (Leitgewebe) grundsätzlich gleich groß wie am Ende der Dekompressionszeit von Dekotauchgängen.

In beiden Fällen wird der tolerierte Umgebungsdruck und damit der höchstzulässige Inertgasüberdruck eines Gewebes erreicht.



Grafik 8: *Aufstieg in der Nullzeit*

> Nur wenn der Taucher die Nullzeit nicht vollständig ausnützt und zusätzlich Sicherheitsstopps einhält, ist die Belastung der Gewebe durch die Inertgase geringer.

Die tiefenabhängige Verminderung der Aufstiegsgeschwindigkeit gilt auch für Nullzeittauchgänge. Der **Nullzeitstopp beträgt mindestens 3 min in 5 m Tiefe**. Anschließend soll **bewusst langsam** zur Oberfläche aufgestiegen werden. Es wurde beobachtet, dass die Zahl von Mikrobläschen nach einem tiefen Tauchgang an der Nullzeitgrenze besonders groß ist.

> Der tiefe Sicherheitsstopp ist daher auch für Tauchgänge in der Nullzeit zu empfehlen.

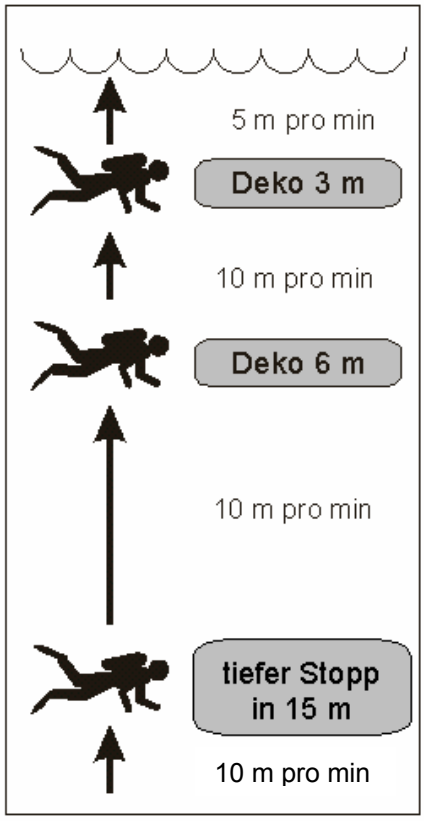
In Bergseen werden die Nullzeiten mit zunehmender Höhenlage immer kürzer, weil die Gewebe nicht mehr so weit aufgeladen werden dürfen. Die Verkürzung der Nullzeiten kann jedoch durch Anreicherung der Atemluft mit Sauerstoff (Nitrox) kompensiert werden.

Mit Nitrox können im Vergleich zu Luft als Atemgas längere Bergseetauchgänge innerhalb der Nullzeit durchgeführt werden. Tauchen mit Nitrox erfordert jedoch eine eigene Ausbildung.

Folgetauchgänge (Wiederholungstauchgänge) beginnen immer mit dem Restdruck der Gewebe aus dem Ersttauchgang, weil sich mittlere und langsame Gewebe in der Zeit zwischen den Tauchgängen (Oberflächenpause) nicht auf ihren Anfangswert entladen können. Soll nun ein weiterer Nullzeittauchgang erfolgen, muss der bestehende Restdruck berücksichtigt werden, indem man die Nullzeit um den **„Zeitzuschlag“** aus der sog. „Wiederholungstabelle“ verkürzt. Der Zeitzuschlag ist tiefenabhängig und entspricht der im letzten Abschnitt beschriebenen **„Rest-Stickstoff-Zeit“.**

11.2. Wiederholungstauchgänge

Oberflächenpausen von weniger als zwei Stunden zwischen zwei Tauchgängen genügen nicht, um alle langsamen Gewebe auf ihren Anfangswert zu entsättigen, so dass ihr Inertgasdruck von Tauchgang zu Tauchgang zunimmt. Ein Wiederholungstauchgang wird daher mit dem „Restdruck" langsamer Gewebe aus dem vorausgegangenen Tauchgang begonnen. **Langsame Gewebe haben bereits einen Überdruck, als seien sie schon einige Zeit aufgeladen worden** (Rest-Stickstoff-Zeit).



Grafik 9: *Aufstieg mit Dekozeit*

> Da die Aufsättigung langsamer Gewebe mit jedem Tauchgang zunimmt, wird nach 3 Tauchgängen eine Pause von 12 Stunden empfohlen und jeder 3. bis 4. aufeinander folgende Tag sollte tauchfrei sein.

Wiederholungstauchgänge sollten speziell beim „non-limit Tauchen" möglichst innerhalb der Nullzeit bleiben. Je kürzer die Oberflächenpause, desto länger wird die Rest-Stickstoff-Zeit, so dass auch die verbleibende Nullzeit immer kürzer wird. Nullzeiten können daher in der Praxis nur mit Tauchcomputern „ausgeschöpft" werden, was jedoch gewisse Risiken in sich birgt, da der Sicherheitsrahmen bei vollständiger Ausnützung der Profile immer kleiner wird.

> Werden Wiederholungstauchgänge mit Tauchcomputer durchgeführt, muss bei allen Einzeltauchgängen derselbe Computer verwendet werden. Andernfalls besteht – aufgrund falscher Berechnungen – ein hohes Risiko für eine DCS.

Auch wenn in Tabellen sehr kurze Oberflächenintervalle angeführt sind, sollte die Pause zwischen zwei Tauchgängen mindestens 2 Stunden betragen, da die Entwicklung von Mikrobläschen innerhalb der ersten beiden Stunden nach einem Tauchgang am größten ist.

11.3. Tauchgänge in Bergseen

Die Gewebe eines Tauchers sind in Höhe seines Wohnortes gesättigt. Der Partialdruck der Inertgase ist in jedem einzelnen Gewebetyp (Kompartiment) gleich groß wie in der umgebenden Atmosphäre, d. h. es herrscht ein Gleichgewicht der Gasdrücke. Pro Zeiteinheit diffundieren gleich viele Gasteilchen in das Blut und die Gewebe des Tauchers, wie aufgrund der Wärmeschwingungen wieder austreten.

Steigt der Taucher nun zu einem Bergsee auf, so vermindert sich der Umgebungsdruck um annähernd 10 % pro 1000 m Höhenzuwachs. Die Körpergewebe geben Stickstoff ab, bis sie

den neuen Gleichgewichtszustand erreichen. Ein Computer kann dem Taucher nach dem Aufstieg anzeigen, wie lange seine Körpergewebe dazu brauchen werden. Genau genommen kann er nur anzeigen, nach welcher „Adaptationszeit“ (= Entsättigungszeit) kein Zeitzuschlag (= Rest-Stickstoff-Zeit) für den relativen Stickstoffüberschuss berücksichtigt werden muss.

Will der Taucher unmittelbar nach Erreichen des Bergsees tauchen, so muss er berücksichtigen, dass die Mehrzahl seiner Gewebe noch nicht auf den geringeren Umgebungsdruck „entsättigt“ ist. Vor dem Tauchgang muss daher eine **Wartezeit** (entsprechend einer Oberflächenpause) eingehalten werden, weil ähnliche Bedingungen herrschen, wie bei einem Wiederholungstauchgang. **Der „Restdruck“ vergrößert den Druck der langsamsten Gewebe,** wie ein Tauchgang in größere Tiefe. Ist die Wartezeit länger als 12 Stunden, so kann der Tauchgang als Ersttauchgang in der entsprechenden Seehöhe angesehen werden. Für die Anpassung der wichtigsten Gewebe wird meistens eine Entsättigungszeit von 12 Stunden als ausreichend betrachtet. Für Höhen ab 2500 m werden 3 Tage Entsättigungszeit (Anpassung der langsamsten Gewebe) vorgeschrieben.

Während des Tauchgangs werden alle Gewebe mit Inertgas aufgeladen. Die Aufsättigung steigt proportional mit der Druckdifferenz (Tauchtiefe) an. Die Sättigung erfolgt unterschiedlich schnell, je nach Halbwertszeit des einzelnen Gewebes. Am Ende des Tauchgangs haben sich alle Gewebe auf unterschiedliche Gasdrücke aufgesättigt.

Beim Aufstieg werden die Gewebe wieder einem geringeren Umgebungsdruck ausgesetzt. Der Umgebungsdruck muss geringer sein, als der Lösungsdruck im Gewebe, damit die Entsättigung eines Gewebes beginnen kann. Der Gastransport erfolgt bei der Diffusion nur vom Ort des höheren zum Ort des tieferen Drucks. Es muss also ein Druckgefälle (Gradient) als treibende Kraft vorhanden sein.

Prof. Bühlmann beschrieb das Druckverhalten der Gewebe. Er erkannte, dass die Gewebe bei vermindertem Umgebungsdruck weniger Inertgasüberdruck tolerieren. **Wenn der Luftdruck sinkt, wird die Anzahl von langsamen Geweben, die entsättigt werden müssen, immer größer. Die Dekozeiten in geringen Dekotiefen nehmen zu.**

> Da langsame Gewebe ihren erhöhten Gasdruck beim Aufstieg zum Bergsee nur langsam durch Gasabgabe an den geringeren Luftdruck angleichen, sind der Aufstieg zum See und die Wartezeit vor dem Tauchgang entscheidende Faktoren.

Das **Flugverbot** im Anschluss an einen Tauchgang hängt ebenfalls vom Inertgasdruck der langsamen Gewebe ab. Der Kabinendruck eines Verkehrsflugzeugs beträgt normalerweise etwa 0,8 bar. Je höher der Bergsee liegt, desto länger muss am Ende des Tauchganges dekomprimiert werden, bevor die Oberfläche gefahrlos aufgesucht werden kann. Gleichzeitig nimmt mit der Höhe auch der Unterschied zwischen Gewebedruck und Kabinendruck im Flugzeug ab. Das Flugverbot im Anschluss an einen Bergseetauchgang wird daher mit steigender Seehöhe immer kürzer. Nach einem Tauchgang in 4000 m Höhe entfällt das Flugverbot, weil der Kabinendruck des Flugzeuges nur mehr bei einem technischen Zwischenfall kleiner werden kann als der hier herrschende atmosphärische Druck von 0,6 bar.

> Der größtmögliche Druckunterschied und das längste Flugverbot ergibt sich somit nach einem Tauchgang im Meer.

12. Tabellen & Computer

12.1. Höhenbereiche von Tabellen / Tiefenzuschlag:

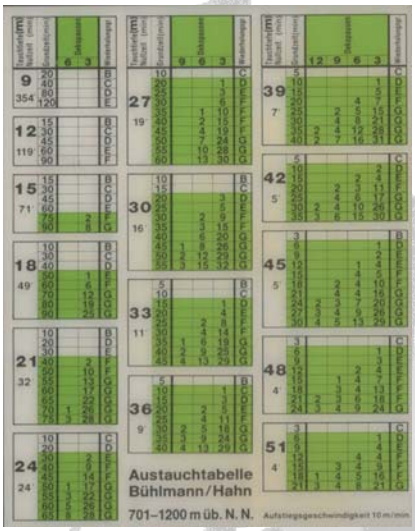


Foto 13: *Bühlmann/Hahn Tabelle*

In 3000 m Höhe beträgt der Umgebungsdruck 0,7 bar. Der Druck von 1 bar, für den Meerestabellen berechnet werden, herrscht hier in 3 m Wassertiefe.

> Die Dekompression muss daher in größerer Tiefe beginnen und dauert entsprechend länger, denn alle Gewebe müssen den verminderten Oberflächendruck von 0,7 bar gefahrlos tolerieren.

Es wurden Bergseetabellen für verschiedene Höhenbereiche berechnet. **Sie gelten im allgemeinen für angepasste Gewebe** und haben daher die kürzestmöglichen Dekozeiten. Sie erfordern somit eine Wartezeit von mindestens 12 Stunden in Bergseehöhe, bis die Anpassung der wichtigsten Gewebe an den jeweiligen Umgebungsdruck (Bergsee-Luftdruck) erfolgt ist und der Tauchgang nach diesen Tabellen durchgeführt werden darf.

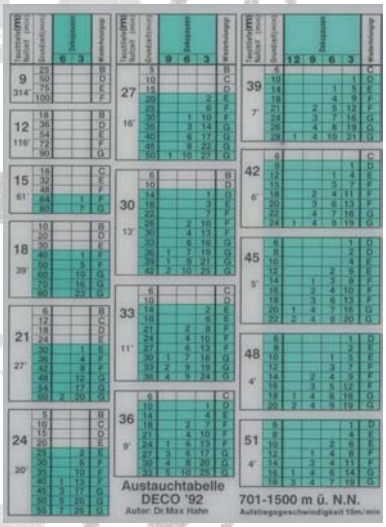


Foto 14: *DECO '92 Tabelle*

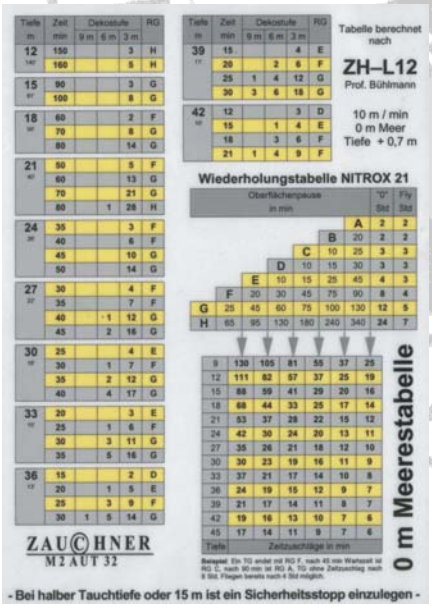


Foto 15: *H. Zauchner - Tabelle Nitrox 21 Entwurf*

Einzig die Bühlmann Bergseetabelle 1986 berücksichtigt die Restsättigung, die sich nach einem **einstündigen Aufstieg** von 701 auf 2500 m ergibt. Sie hat daher längere Dekozeiten.

Die DECO92 Tabelle gibt es für die Höhenbereiche 0 – 700 m und für 701 – 1500 m. Es gibt keine verbindlichen Angaben, nach welcher Wartezeit die Bergseetabelle verwendet werden darf.

Wenn ein Taucher im Tal (z. B. in 500 m Seehöhe) wohnt und in einem Bergsee in 1000 m Seehöhe tauchen möchte, so wohnt er im Höhenbereich der ersten DECO92 Tabelle und möchte im Gültigkeitsbereich der zweiten tauchen. **Er ist gezwungen, in Bergseehöhe zu übernachten**, damit sich zumindest seine schnelleren Gewebe an den verminderten Druck

anpassen können. Anderenfalls taucht er außerhalb der Tabellenvorgaben. Dasselbe gilt für die Bühlmanntabellen.

Der englische Tauchverband SAA (Sub Aqua Association) verwendet das Bühlmannsystem und schreibt in seinem Handbuch 1988 auf Seite 27 sogar eine allgemeine Wartezeit von 24 Stunden vor, wenn „eine Höhenänderung“ (ein Aufstieg in größere Höhe) erfolgt ist.

> Für Einsatztaucher, die zu einem Stausee auf Bergseeniveau transportiert werden, steht somit keine geeignete Tabelle zur Verfügung, weil keine Tabelle den relativ kurzen Aufstieg vom Tal in den nächst größeren Höhenbereich des Bergsees berücksichtigen kann.

Noch drastischer wird es, wenn Einsatztaucher zu einem höher gelegenen Einsatzort geflogen werden sollen und die Adaptationszeit vor dem Tauchgang wegfällt. Der Taucher braucht somit einen Tauchcomputer, der den Aufstieg zum Berg mitrechnet. Steht kein geeigneter Computer oder keine geeignete Tabelle zur Verfügung, oder kann die vorgeschriebene, lange Wartezeit nicht eingehalten werden, so steht als Alternative die **Rechenmethode des Tiefenzuschlages** zur Verfügung.

Achtung: Diese Methode fordert einen **Tiefenzuschlag von 10 % pro 1000 m Seehöhe** und eine Mindestwartezeit von 40 min vor dem Tauchgang. Sie wurde von Bühlmanntabellen abgeleitet und gilt bis max. 3000 m Höhe. Die Methode führt zu geringfügig längeren Dekozeiten gegenüber einer passenden Bergseetabelle. Die Verlängerung ist jedoch zumutbar.

> Ein Aufstieg zu einem Bergsee erfordert grundsätzlich eine Wartezeit (Adaptationszeit) vor dem Tauchgang. Vor einem weiteren Aufstieg zu einem höher gelegenen Pass im Anschluss an den Tauchgang oder vor einem Flug muss ebenfalls eine Wartezeit eingehalten werden.

12.2. In der Praxis werden Tauchcomputer verwendet:

Tauchcomputer sind einfacher anzuwenden als Tabellen. Die Planung eines Tauchgangs wird jedoch mühselig im Vergleich zur Planung mit Tabelle. Eine Planung von Tauchgängen in Bergseen ist vom Schreibtisch aus noch nicht möglich. Manche Computer müssen von Hand auf den passenden Höhenbereich eingestellt werden, andere rechnen die Druckänderungen beim Aufstieg zum Tauchplatz mit.

> Computer, welche die Druckänderung beim Aufstieg in größere Höhen mitrechnen, müssen am Wohnort des Benützers aufbewahrt werden, damit sie den tatsächlichen Sättigungszustand der Gewebe korrekt berechnen können.

Die Verwendung von Computern, die auf Bergseehöhe gelagert werden, ist nach einem Aufstieg (ohne vollständige Druckanpassung) gefährlich und daher unzulässig.

Durch Berührung mit dem Wasser wird der Tauchmodus aktiviert. Der Computer misst in kurzen Abständen die Druckänderung (Tiefe und Zeit), zeigt sie an und berechnet aus den Tiefen- und Zeitintervallen die Inertgasdrücke der einzelnen Gewebe. Er berechnet, wie lange der Taucher noch in der augenblicklichen Tiefe verweilen darf, ohne dass Dekopausen notwendig werden (Rest-Nullzeit) und zeigt die erforderliche Aufstiegszeit mit allen Dekopausen an.

Neuere Computer zeigen keine starren Dekotiefen (3, 6, oder 9 m) mehr an, sondern geben an**,** wie weit der Taucher **maximal aufsteigen darf**, ohne seine Gewebe zu überlasten („ceiling“). Weiters geben sie auch an, wie weit ein Taucher **aufsteigen muss** damit überhaupt die „Entsättigung“ beginnt („floor“).

„Luftintegrierte“ Computer zeigen sowohl den Flaschendruck als auch die Zeit an, die der Taucher noch in der augenblicklichen Tiefe mit dem momentanen Luftverbrauch verbringen kann, ohne dass er auf seine „Reserve“ zugreifen muss. Eine Erhöhung des „durchschnittlichen“ Luftverbrauchs wird als „körperliche Anstrengung“ gewertet und mit Warnsymbolen angezeigt.

„Adaptive Programme“ messen zusätzlich die Wassertemperatur und versuchen damit die temperaturabhängige Löslichkeit des Stickstoffs in der Haut zu berücksichtigen. Nitroxcomputer lassen sich auf den Sauerstoffgehalt des Atemgasgemisches einstellen. Einzelne Systeme übertragen den Flaschendruck über kodierte Ultraschallsignale von einem Sender an der Hochdruckstufe zum Empfänger im Computer am Handgelenk des Tauchers und benötigen daher keinen Hochdruckschlauch zur Druckübermittlung.

Die Programme der Tauchcomputer sind meist für „durchschnittliche“ Taucher ausgelegt. Bei einzelnen Modellen können zusätzliche „persönliche Sicherheitsfaktoren“ (z. B. ein Bergseemodus auch für Tauchgänge im Meer) eingestellt werden. Computer rechnen sowohl während der Tauchgänge als auch während der Oberflächenpausen die Veränderung der Gewebedrücke weiter. Die Berechnungen sind daher nur für das Tauchprofil **ein und desselben Tauchers** gültig.

Tauchcomputer haben den grundsätzlichen Vorteil gegenüber Tabellen, dass sie die Dekompression auch dann richtig berechnen, wenn Austauchstufen tatsächlich in größerer Tiefe eingehalten werden, als des angezeigten Dekostopps. **Der tolerierte Umgebungsdruck wird nicht erreicht und die Bildung von Mikrobläschen mit großer Sicherheit vermindert.**

Fehlende Instrumente des Tauchpartners werden durch den eigenen Tauchcomputer nicht ersetzt. Computer sind technisch nicht zuverlässiger als Uhren oder Tiefenmesser und können auch ausfallen. Bei Verlust oder Ausfall eines Computers geht die Information über die Restsättigung verloren. Da die Entsättigungszeit länger als 24 Stunden dauern kann, besteht ein Gesundheitsrisiko wenn ein Ersatzcomputer verwendet wird, bevor alle Gewebe entsättigt sind.

> Kein Tauchcomputer kann Tauchgänge berechnen, die ohne ihn durchgeführt worden sind. Computer dürfen daher nur eingesetzt werden, wenn sie bei allen Tauchgängen mitgeführt worden sind, deren zeitlicher Abstand weniger als 24 Stunden beträgt.

Computer müssen im gebirgigen Land **„bergseetauglich“** sein. Für Taucher, welche oft in wechselnden Höhen tauchen, entsteht eine Gefährdung, wenn sie vergessen, den Höhenbe-

reich richtig einzustellen. Für sie erscheint daher ein Computer zweckmäßig, der Höhenänderungen selbst erkennen und „mitrechnen“ kann.

Wiederholungstauchgänge in hochgelegenen Seen können manchmal ohne Nitrox nicht sinnvoll durchgeführt werden, weil die Dekozeiten länger werden als die Tauchzeiten. Jedes Jahr wächst die Flotte von Tauchschiffen, die Nitrox ohne Mehrpreis anbieten, um die Sicherheit für Taucher und Reiseveranstalter zu erhöhen. Auch wenn manche Nitroxcomputer noch teuer sind, erscheint es daher sinnvoll, über die Anschaffung eines **„nitroxtauglichen“** Computers nachzudenken.

Foto 16: *Drei Generationen von „Tauchcomputern“*

Tabellen und Computer können keinen „absoluten Schutz“ vor einem Tauchunfall bieten, genau so wenig, wie ein „Lawinenpieps“ vor dem Abgang einer Lawine schützen kann.

Bevor man einen Tauchcomputer kauft, sollte man sich bei den einzelnen Tauchkameraden erkundigen, welche Erfahrungen sie mit den verschiedenen Modellen gemacht haben. Am besten beginnt man mit der **Betriebsanleitung** und macht sich mit den verschiedenen Anzeigen und Einstellmöglichkeiten vertraut.

Der Computer nimmt beim ersten Tauchgang an, dass alle Gewebe des Tauchers „angepasst" seien. Die Anzeigen sind daher nur dann gültig, wenn der Taucher vorher mindestens 24 Stunden nicht getaucht hat und seine Gewebe **keine Restsättigung** aufweisen.

Dasselbe gilt, wenn ein schadhafter Computer ausgetauscht werden muss. Auch hier gilt eine Wartezeit von 24 Stunden, damit sich der Großteil der Gewebe an den herrschenden Luftdruck anpassen kann.

Vor dem ersten Tauchgang muss der **Höhenbereich** eingestellt bzw. überprüft werden. Kein einziger Computerhersteller ist bereit anzugeben, wie er den Aufstieg zum Bergsee behandelt. Der Anwender muss daher die Vorgaben der Bedienungsanleitung einhalten und auf die Anzeigen des Computers vertrauen, oder er muss sie mit Tabellen oder anderen Computern vergleichen.

Wichtigste Anzeige ist zunächst die Tiefe, damit ein Taucher die höchstzulässige Tiefe erkennen und Sicherheitsstopps einhalten kann. Die Nullzeit wird immer kürzer und signalisiert dem Taucher rechtzeitig, wann er aufsteigen soll. Sobald er einige Meter aufgestiegen ist, verlängert sich seine Nullzeit wieder. Wenn der Taucher auf diese Art die Grenzen der Nullzeit „ausreizt", schöpft er den Sicherheitsrahmen völlig aus und sollte die (später im Abschnitt 14.1.) **empfohlenen Sicherheitsstopps für einen „blasenarmen Aufstieg"** unbedingt einhalten.

Obwohl es zur Zeit erst wenige Computer gibt, die einen tiefen Sicherheitsstopp oder einen Nullzeitstopp empfehlen, sollten diese beiden Stopps schon jetzt eingehalten werden, weil dadurch die Bildung von Mikrobläschen nachweislich vermindert wird. Neuere Computer zeigen an, ob die **zulässige Aufstiegsgeschwindigkeit** erreicht oder überschritten wird.

> Allgemein können Mikrobläschen vermindert werden, wenn die Dekompression tiefer begonnen oder durchgeführt wird, als der Computer anzeigt und wenn die empfohlenen Stopps eingehalten werden.

Wenn die Anzeigen von 2 Computern voneinander abweichen, sollte man sich nach den konservativeren Angaben richten.

⇒ **Achtung:** Die Anzeigen verschiedener Computermodelle können außerordentlich weit voneinander abweichen, auch wenn gleichartige Tauchgänge durchgeführt worden sind. Es erscheint daher zweckmäßig, dass Tauchpartner Computer vom gleichen Hersteller verwenden.

⇒ **Achtung:** Der Computer muss schon bei allen vorausgegangenen Tauchgängen verwendet worden sind.

⇒ **Achtung:** Flugwarnungen müssen beachtet werden

13. Dekompressionstabellen:

Der als Beispiel angeführte Bühlmann-Tabellensatz von 1986 des Schweizerischen Unterwasser-Sport-Verbandes SUSV besteht aus 4 Tabellen:

1. **Tabelle 0-700 m** für **Gewebeanpassung in 700 m Höhe**: Sie kann daher in 700 m oder auf Meeresniveau verwendet werden, aber sie berücksichtigt NICHT den Aufstieg von 0 auf 700 m. Ein Aufstieg innerhalb des Höhenbereichs würde die Dekozeit verlängern.
2. **Tabelle 701-2500 m**: Sie berücksichtigt den **Aufstieg von 701 m zur Tauchplatzhöhe** innerhalb einer Stunde. Die 3 m- Dekostufe wurde in eine 4 m- und eine 2 m-Stufe aufgeteilt, damit man (1986) näher entlang der höchstzulässigen Inertgasdruckgrenze austauchen konnte. Heute werden größere Dekotiefen angestrebt (z.B. letzte Stufe in 6 m), weil sich größere Mikrobläschenmengen dadurch vermeiden lassen.
3. **Tabelle 2501-4500 m** für **Gewebeanpassung in 4500 m:** Es wird ausdrücklich eine Anpassungszeit von 3 Tagen vorgeschrieben, damit sich auch die langsamsten Gewebe an den verminderten Druck anpassen können.
4. **Tabelle für Passfahrten und Fliegen ohne Druckkabine:**

Bei Zwischenwerten nächst größere Höhe verwenden

	Wiederholungsgruppe (RG) am Ende des Tauchganges				
Höhe (m)	**A – D**	**E**	**F**	**G**	**H**
2500	1:00	1:00	1:00 [1])	1:00	2:00 [2])
3000	1:00	1:00	1:00	1:30	3:30
3500	1:00	1:00	1:30	3:30	5:30
4000	1:00	1:30	3:00	5:00	7:00
	Alle Wartezeiten in Std:Min				

Anmerkungen:

1. Kein zusätzlicher Aufstieg innerhalb der ersten Stunde nach dem TG!
2. Nach Ablauf dieser ersten Stunde: gleichmäßiger Aufstieg zur Zielhöhe.
3. Zielhöhe darf nicht vor der angegebenen Wartezeit erreicht werden.

© B. A. Müller

⇒ **Planungsbeispiel [1]):** nach einem Tauchgang mit der Wiederholungsgruppe F soll ein 2000 m hoch liegender Pass überquert werden.

Antwort: die nächst größere Höhe ist 2500 m.

Nach einer Wartezeit von 1 Stunde kann der Aufstieg zum Pass beginnen.

⇒ **Planungsbeispiel [2]):** nach 2 Tauchgängen am Bodensee möchte der Taucher über den Arlberg nach Hause fahren.

Antwort: der Arlberg ist weniger als 2500 m hoch. Nach einer Wartezeit von 1 Stunde kann der Aufstieg zum Pass beginnen. Wenn die Wiederholungsgruppe = Repetivgruppe, RG = „H“ erreicht worden ist (beispielsweise nach einem Wiederholungstauchgang 21 m / 80 min), muss beachtet werden, dass die Passhöhe nicht vor 2 Stunden erreicht werden darf.

Die folgende „Meerestabelle“ wurde als Nitroxtabelle geplant und mit dem Koeffizientensatz ZH-L12 von Prof. Bühlmann (1986) berechnet.

Sie gilt für einen „Rechtecktauchgang“ und berücksichtigt einen Fehler des Tiefenmessers von 0,7 m. Mit ihr vereinfacht sich die Anwendung des Tiefenzuschlages.

Tauchtiefe: größte erreichte Tiefe

Grundzeit: vom Beginn des Abstieges bis zum Erreichen des „tiefen Sicherheitsstopps“

Um Mikrobläschen zu vermeiden wird der Aufstieg nach Empfehlungen von DAN durch einen tiefen Stopp unterbrochen. Der Aufstieg aus 15 m Tiefe erfolgt rechnerisch mit „höchstmöglicher Geschwindigkeit“. Die Dekopausen beginnen dadurch geringfügig tiefer und werden länger als notwendig.

Im Zeitalter des Computers wird die „Meerestabelle“ NITROX 21 nicht mehr für Tauchgänge verwendet. Sie ist jedoch durch die Anwendbarkeit der Zuschlags- & Abzugsmethode (für Bergsee & Nitrox) gemeinsam mit dem TAUCHGANGSPLANER ein ausgezeichnetes Instrument zur übersichtlichen und schnellen Planung von beliebigen Tauchgängen.

Tauchgänge müssen nicht mehr „berechnet“ werden, weil man alle notwendigen Größen mit ausreichender Genauigkeit direkt ablesen kann.

Haftungsausschluss:

Der Autor weist ausdrücklich darauf hin, dass es eine große Anzahl verschiedener Dekotabellen und Computer gibt, welche sich erheblich voneinander unterscheiden. Die Dekovorschriften der Tabellen weichen so stark voneinander ab, dass sie nicht direkt verglichen werden können. Auch Computer rechnen nach abgeänderten Programmen, die einen direkten Vergleich nicht erlauben.

Für eventuelle gesundheitliche Probleme bei Verwendung der folgenden Tabelle kann der Autor keine Haftung übernehmen.

Die vorliegende Tabelle enthält nur mittlere Richtwerte für die Planung von Tauchgängen. In der Praxis sollten Tauchgänge nach den Vorgaben eines modernen Tauchcomputers unter Berücksichtigung der oben genannten Sicherheitskriterien durchgeführt werden. Die jeweilige Bedienungsanleitung muss unbedingt beachtet werden.

„Grundzeit“: Vom Abtauchen bis zum Erreichen des „tiefen Sicherheitsstopps“.
„Tiefenzuschlag“: 10 % pro 1000 m Seehöhe

Tiefe m	Zeit min	Dekostufe 9m	6m	3m	RG
12	150			4	G
138‘G	180			9	H
15	90			4	G
80‘ F	100			8	G
18	60			2	F
54‘ E	70			8	G
	80			14	G
21	50			6	F
37‘ C	60			13	G
	70			21	G
	80		1	29	H
24	35			3	E
26‘ C	40			6	F
	45			10	F
	50			15	G
27	30			4	E
20‘ C	35		1	7	F
	40		1	12	F
	45		3	16	G
30	25			5	D
17‘ C	30		2	6	F
	35		3	11	F
	40		5	16	G
33	20			4	D
12‘ A	25		2	6	E
	30		4	9	F
	35	1	5	15	G
36	15			2	C
10‘ A	20		1	5	D
	25		4	7	F
	30	2	5	13	G

Tiefe m	Zeit min	Dekostufe 9m	6m	3m	RG
39	15		1	3	C
8‘ A	20		3	5	E
	25	2	4	10	F
	30	4	6	16	G
42	12		1	2	C
6‘ A	15		1	5	D
	18	1	3	5	E
	21	1	5	7	F

ZH-L12

Entwurf nach Prof. Bühlmann

Meeresniveau
Tiefe + 0,7 m
Aufstieg in „Stufen“

Oberflächenpause in min							„0“ Std.	FLY Std.
						A	2	2
					B	20	2	2
				C	10	25	3	3
			D	10	15	30	3	3
		E	10	15	25	45	4	3
	F	20	30	45	75	90	8	4
G	25	45	60	75	100	130	12	5
H	65	95	130	180	240	340	24	7

RG

Tiefe	Zeitzuschläge in min					
9	130	105	81	55	37	25
12	111	82	57	37	25	19
15	88	59	41	29	20	16
18	68	44	33	25	17	14
21	53	37	28	22	15	12
24	42	30	24	20	13	11
27	35	26	21	18	12	10
30	30	23	19	16	11	9
33	27	21	17	14	10	8
36	24	19	15	12	9	7
39	21	17	14	11	8	7
42	19	16	13	10	7	6
45	17	14	11	9	7	6

NITROX 21

ZAU©HNER

CMAS M2 AUT 32

Tabelle für die Tauchgangsplanung

„Tiefer Sicherheitsstopp“
in 15m oder halber Tiefe
„Nullzeitstopp“ in 5 m Tiefe

14. Anwendung der Tabelle NITROX 21:

Untersuchungen der Tauchsicherheitsorganisation DAN haben ergeben, dass die messbare Blasenentwicklung nach einem Tauchgang durch ein geeignetes Aufstiegsverhalten in hohem Maß vermindert werden kann.

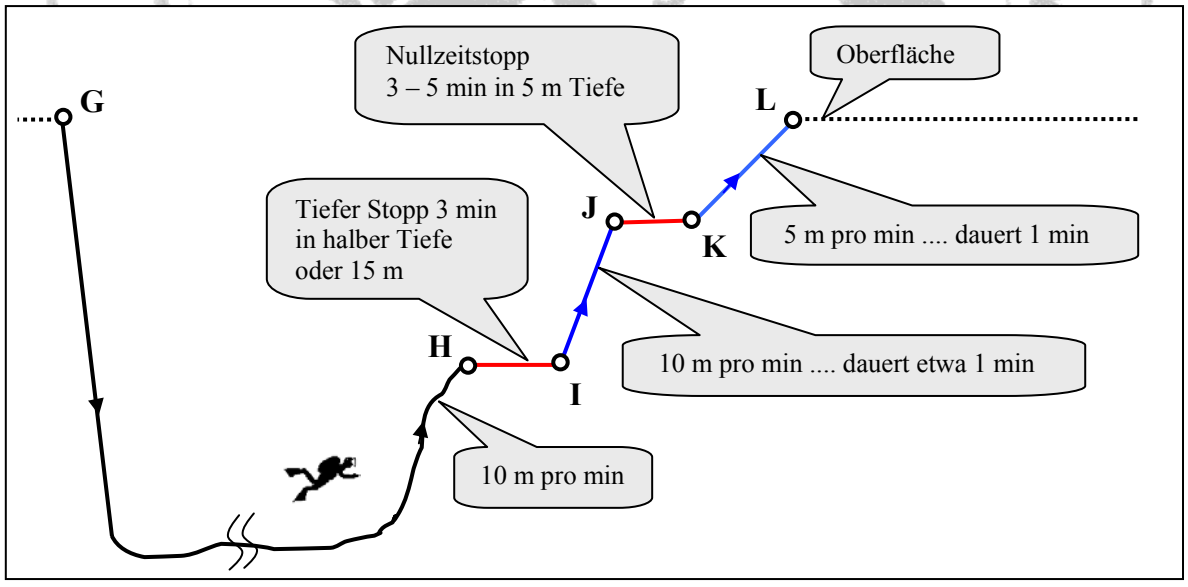
> Die größte Verminderung von Blasen ergibt sich nicht durch einen gleichmäßigen, langsamen Aufstieg, sondern durch einen Aufstieg in Stufen.

14.1. Der „blasenarme Aufstieg“:

Der Taucher taucht zum Zeitpunkt (G) ab. Die Grundzeit ist zu Ende, wenn der Taucher wieder zum „tiefen Sicherheitsstopp“ in 15 m oder zur halben Tauchtiefe aufgestiegen ist (H). Beim Aufstieg bis 15 m soll die Geschwindigkeit 10 m/min betragen. 20 m/min sollten auf keinen Fall überschritten werden (Computeranzeige beachten) !

Der „blasenarme Aufstieg in der Nullzeit“ ist „standardisiert“:

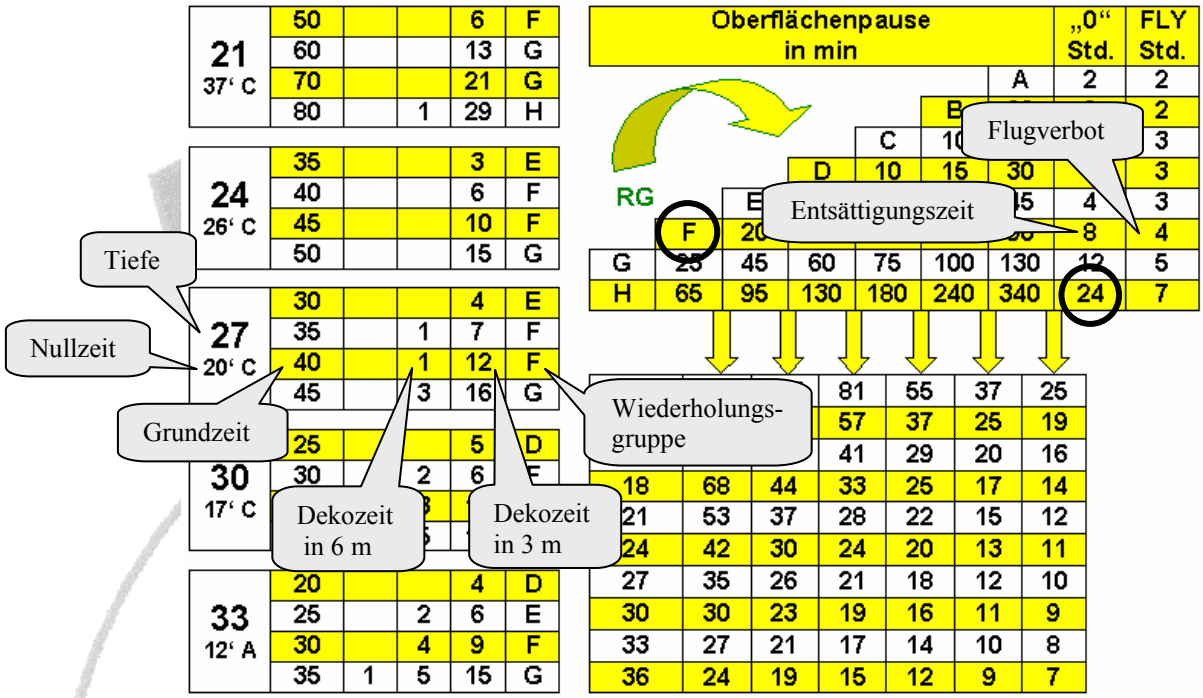
Der tiefe Sicherheitsstopp (**H - I**) soll wenigstens 3 min dauern. Anschließend steigt der Taucher mit 10 m/min zum Nullzeitstopp in 5 m auf. Nach 3 – 5 min in 5 m (**J - K**) wird die Aufstiegsgeschwindigkeit auf 5 m/min halbiert. Der Aufstieg zur Oberfläche (**L**) muss **bewusst langsam** erfolgen und dauert daher wieder 1 min.



Der „blasenarme Aufstieg“ erfordert einen tiefen Stopp und oberflächennah eine weitere Verminderung der Aufstiegsgeschwindigkeit. Er dauert **maximal 10 min**.

Bei Wiederholungstauchgängen sollen längere Sicherheitsstopps gewählt werden. Verlängerte Stopps werden empfohlen, wenn im Laufe des Aufstiegs die zulässige Höchstgeschwindigkeit überschritten wurde.

14.2. Tabelle für den Ersttauchgang:



Die Tauchtiefen (12 – 42 m) der Tabelle findet man ganz links. Bei geringen Tiefen bis 9 m sind keine Dekozeiten mehr zu erwarten, da die Nullzeiten länger sind als die durchschnittliche Atemgasmenge in handelsüblichen Tauchflaschen reicht. Unmittelbar unter der Tauchtiefe steht die zugehörige Nullzeit (z.B. 20’ = 20 min). Je größer die Tiefe, desto kürzer werden die Nullzeiten. Neben der Nullzeit steht die zugehörige Wiederholungsgruppe.

Die 2. Spalte zeigt die Grundzeiten der zugeordneten Tauchtiefen. Die nächsten 3 Spalten enthalten die Werte für erforderliche Dekopausen in 9, 6 und 3 m Tiefe. In der letzten Spalte „RG“ (Repetitive Group = Wiederholungsgruppe) findet man den Buchstabencode des nach dem Tauchgang am stärksten belasteten Gewebes (Leitgewebe).

Um die Dekompressionsvorschrift zu planen, müssen zuerst die größte zu erreichende Tiefe und die Grundzeit festgelegt (oder von Tiefenmesser und Uhr abgelesen) werden.

Achtung: Sind die tatsächliche Tiefe und/oder Grundzeit nicht in der Tabelle ablesbar, wählt man immer den jeweils nächst größeren Tabellenwert.

Beispiel:

Die geplante Tiefe sei 25 m und die geplante Grundzeit sei 38 min. Die beiden Werte kommen in der Tabelle nicht vor, daher nimmt man die **nächst größere Tiefe 27 m** und die **nächst längere Zeit 40 min**.

Die **Nullzeit** in 27 m ist nach **20 min** zu Ende, das heißt, dass keine Dekopausen notwendig sind, wenn der Taucher innerhalb von 20 min wieder den tiefen Sicherheitsstopp erreicht hat. **Für 27 m / 20 min** wird der neben der Nullzeit stehende Gewebecode **RG = C** abgelesen.

Für einen Tauchgang 27 m / 40 min wird die Dekovorschrift **1 + 12 F** abgelesen. Es sind somit 2 Dekostopps vorgesehen, **1 min in 6 m** + **12 min in 3 m**. RG = F

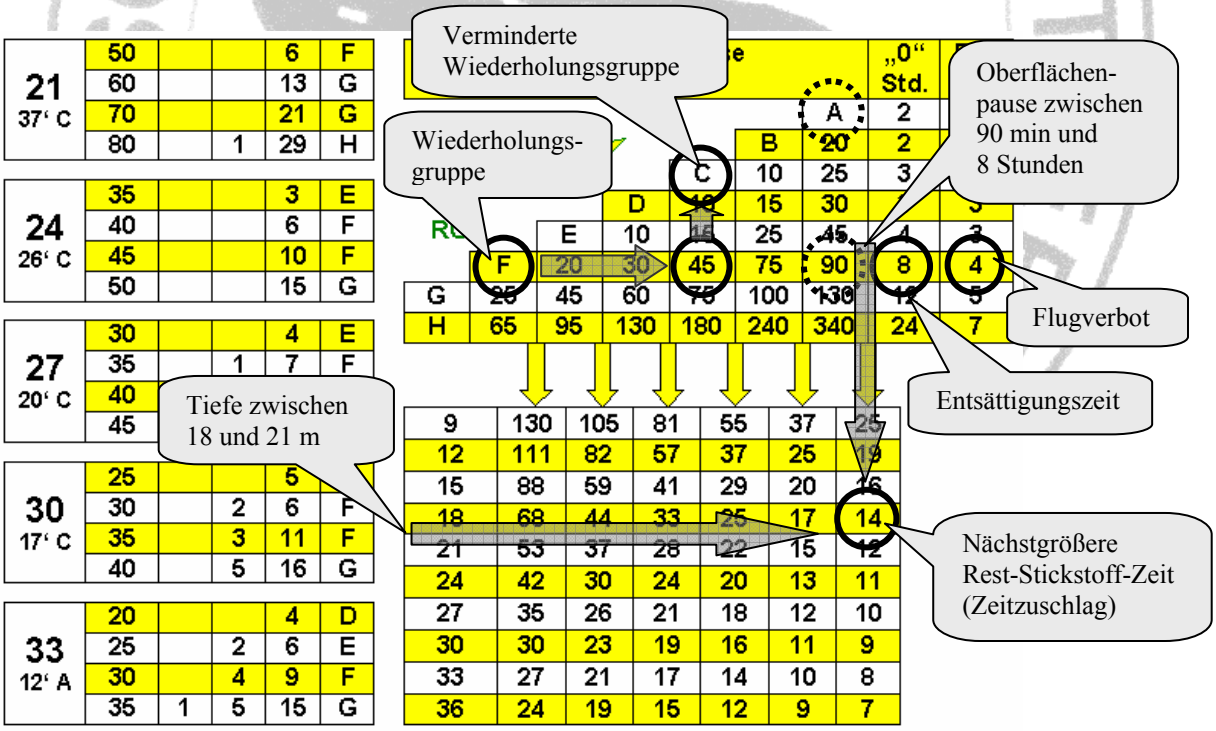
Der **„blasenarme Aufstieg“** beginnt mit dem tiefen Sicherheitsstopp in halber Tiefe (3 min in etwa 12 – 13 m) gefolgt von einem verlangsamten Aufstieg bis auf 6 m. Die Stufendekompression beginnt mit einer Dekozeit von 1 min in einer Tiefe von 6 m. Anschließend erfolgt der Aufstieg auf 3 m. Der Aufstieg von 6 auf 3 m soll auf etwa 20 sec ausgedehnt werden, damit die Aufstiegsgeschwindigkeit von 10 m/min nicht überschritten wird. Nun wird in 3 m Tiefe 12 min lang dekomprimiert. Der Aufstieg von 3 m zur Oberfläche soll bewusst ausgedehnt werden (Aufstieg weniger als eine Handbreite pro Sekunde).

Die Wiederholungstabelle („Oberflächenpause in min“) zeigt, dass bei RG = F nach 4 Stunden geflogen werden darf. Obwohl die Gewebe des Rechenmodells das Restgas beim Kabinendruck im Flugzeug rechnerisch in Lösung halten könnten, sollte das Flugverbot nach einer Empfehlung von DAN auf 12 Stunden verlängert werden. Das Rechenmodell ist für neu entdeckte Eigenschaften menschlicher Gewebe (Thrombosegefahr bei langen Flügen) nicht erweitert worden.

Die längste Entsättigungszeit für Sporttaucher beträgt 24 Stunden. Nach 24 Stunden kann angenommen werden, dass alle wichtigen Gewebe den Druck der umgebenden Atmosphäre angenommen haben und somit angepasst sind. Es kann daher nach 24 Stunden geflogen werden, auch wenn Wiederholungstauchgänge durchgeführt worden sind.

Achtung: Bevor das Flugverbotssymbol des Computers nicht erloschen ist, darf keinesfalls geflogen werden!

14.3. Tabelle für den Folgetauchgang (Wiederholungstauchgang):


Verminderte Wiederholungsgruppe
Wiederholungs-gruppe
Oberflächen-pause zwischen 90 min und 8 Stunden
Flugverbot
Entsättigungszeit
Tiefe zwischen 18 und 21 m
Nächstgrößere Rest-Stickstoff-Zeit (Zeitzuschlag)
21 37‘ C
24 26‘ C
27 20‘ C
30 17‘ C
33 12‘ A
„0“ Std.
A B C D E F G H
9 130 105 81 55 37 25
12 111 82 57 37 25 19
15 88 59 41 29 20 16
18 68 44 33 25 17 14
21 53 37 28 22 15 12
24 42 30 24 20 13 11
27 35 26 21 18 12 10
30 30 23 19 16 11 9
33 27 21 17 14 10 8
36 24 19 15 12 9 7

Die Arbeit mit der **Wiederholungstabelle** beginnt mit dem Buchstaben der Wiederholungsgruppe nach dem Ersttauchgang (in unserem Beispiel „F“). Nach einem Oberflächenintervall von 45 min hat sich der Gewebecode von „F“ auf „C“ vermindert, nach 90 min ist „A“ erreicht. Nach 8 Stunden Oberflächenpause ist kein Zeitzuschlag mehr erforderlich, da alle Gewebe wieder annähernd ihren Anfangsdruck erreicht haben (**Rest-Stickstoff-Zeit = 0**). Nach 4 Stunden sind die Gewebedrücke so weit reduziert, dass alle Gewebe den verminderten

Umgebungsdruck in der Kabine eines Verkehrsflugzeugs tolerieren. Für mehrstündige Urlaubsflüge gelten jedoch die bereits erwähnten **Empfehlungen von DAN**: Wartezeit von 12 Stunden nach einem Einzeltauchgang und 24 Stunden nach Wiederholungstauchgängen.

Planungsbeispiel:

⇒ Der Gewebecode nach dem Ersttauchgang sei F, die Oberflächenpause betrage 2 Stunden, die beabsichtigte Tauchtiefe für den Folgetauchgang sei 20 m. Es wird eine Grundzeit von 30 min geplant.

2 Stunden Oberflächenpause liegen **zwischen 90 min und 8 Stunden** (Pfeil nach unten zwischen 90 min und 8 Std.).

Da die **Tiefe** des 2. Tauchganges **zwischen 18 und 21 m** liegt (Pfeil nach rechts), folgt man der Linie **zwischen** den beiden Werten und wählt in der passenden Spalte den **nächstgrößeren Zeitzuschlag** (hier 14 min).

> Der Zeitzuschlag kann als „Rest-Stickstoff-Zeit“ verstanden werden. Er ist wichtig, weil er bei kurzen Oberflächenpausen und geringen Tiefen sehr große Werte annehmen kann! Der Zeitzuschlag ist auch für Nullzeittauchgänge wichtig!

Der gefundene Zeitzuschlag wird zur geplanten Grundzeit des folgenden Tauchgangs hinzugezählt: Grundzeit + Zeitzuschlag = 30 min + 14 min = 44 min. Diese Zeit ist bereits länger als die Nullzeit in 21 m (37 min).

Die **nächst längere Tabellenzeit** ist 50 min.

Die **nächstgrößere Tabellentiefe** ist 21 m.

Man findet daher für 21 m / 50 min die Dekovorschrift **6 F**.

⇒ **Führt der Folgetauchgang in große Tiefen,** so erreichen die schnellen Gewebe hohe Gasdrücke und bestimmen als Leitgewebe die Null- und Dekozeit. Schnelle Gewebe sind aber auch schnell wieder entladen, die Zeitzuschläge sind entsprechend kurz.

⇒ **Ist der Folgetauchgang in eine geringe Tiefe geplant**, so kann länger getaucht werden. Die schnellsten Gewebe bleiben in der Nullzeit und die langsameren Gewebe erreichen erhöhte Gasdrücke. Da die Drücke immer noch relativ niedrig sind, müssen sie in geringer Dekotiefe entladen werden. Eine Druckabnahme erfolgt ja erst, wenn der Umgebungsdruck geringer ist als der Gewebedruck. Je geringer die Druckunterschiede, desto länger dauert es, bis der Druck wieder abgebaut wird. Die Zeitzuschläge werden somit in geringeren Tiefen immer länger.

Wiederholungssysteme mit Wiederholungsgruppen können nicht berücksichtigen, dass der Druck langsamer Gewebe (und somit auch der Dekompressionsbedarf) mit jedem Folgetauchgang steigt. **Es dürfen deswegen höchstens 3 Tauchgänge pro Tag geplant werden**. Für den ersten Tauchgang sind die Zeitzuschläge zu lang, für den zweiten sind sie ausgelegt worden, für den dritten sind sie bereits zu kurz.

15. Tauchgangsplanung & Luftverbrauch:

Jeder Computerhersteller versucht sich von seinen Konkurrenten abzugrenzen und die „herausragende Sicherheit“ des eigenen Produktes anzupreisen. Dekompressionsvorschriften von Computern sind daher noch schlechter vergleichbar als Tabellen.

Computer nehmen dem Taucher das Mitdenken ab. Sie registrieren inzwischen nicht nur Tauchtiefe und Zeit, sondern auch den Luftverbrauch. In den letzten Jahren wurden Computer vorgestellt, die sogar die Tarierung und den Aufstieg „übernehmen“, indem sie Luftzufuhr und Luftauslass des Jackets steuern.

Worin besteht die „Sicherheit“ eines Computers? Welchem Computer soll man glauben, wenn jeder etwas anderes anzeigt?

Der Einsatz von Computern hat die Tauchsicherheit zwar insgesamt erhöht, bei mangelndem theoretischen Wissen über die Dekompression fördert er aber, dass sich Taucher an den Grenzen der Sicherheit bewegen, da die (nicht angezeigten) Reserven vollständig ausgenützt werden. Erst wenn ein Taucher die Anzeigen seines Computers kritisch beurteilen kann, wird er sie nicht mehr als Vorschrift sondern als Entscheidungshilfe verwenden können.

> Taucher, die nicht alle Entscheidungen ihrem Computer überlassen, müssen ihre Tauchgänge planen, wenn sie wissen wollen, mit welchen Dekozeiten sie rechnen und mit welchem Flaschendruck sie spätestens aufsteigen müssen.

Die Tauchgangsplanung soll der Sicherheit dienen. Sind die Berechnungen kompliziert oder umfangreich, wird in der Praxis kaum jemand einen Tauchgang planen. Außerdem können Berechnungsfehler auftreten, die für viele Taucher schwer (oder nicht) zu erkennen sind.

> Eine komplizierte Tauchgangsplanung unterliegt der Gefahr von Fehlern und dient nicht der Sicherheit!

In jeder Planung ist der individuelle Luftverbrauch eine geschätzte Größe. Das Atem-Minuten-Volumen (AMV) beschreibt den durchschnittlichen Luftverbrauch eines Tauchers pro Minute an der Oberfläche. Dieser schwankt zwischen 15 *l* pro min bei geringer Aktivität und kann bei körperlicher Anstrengung und/oder psychischer Beanspruchung wesentlich höhere Werte als 40 *l* pro min erreichen. Am Beginn ihrer Laufbahn ist der Luftverbrauch aller Taucher erhöht und muss entsprechend berücksichtigt werden.

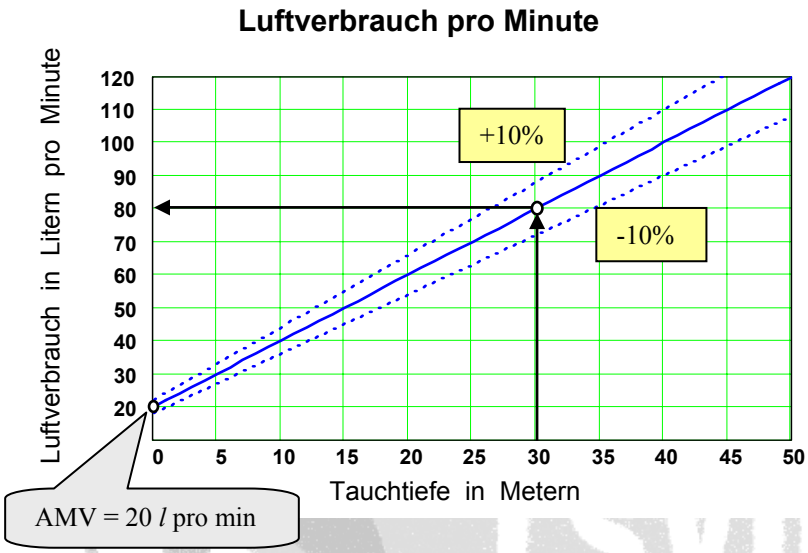
15.1. Durchschnittlicher Luftverbrauch:

- **Beispiel**: Wenn ein Taucher an der Oberfläche bei einem Umgebungsdruck von **1 bar** innerhalb von **5 min** aus einer **10 *l***-Flasche **10 bar** abatmet, so verbraucht er:

$$\frac{Luftmenge}{Umgebungsdruck * Zeit} = \frac{10\ bar * 10\ l}{1\ bar * 5\,\text{min}} = 20\frac{l}{\text{min}}$$ (entspannte Luft mit 1 bar).

Das „Atem-Minuten-Volumen“ (AMV) des Tauchers beträgt **20 *l* pro min,** was einem guten durchschnittlichen Verbrauch entspricht.

Ein „durchschnittlicher“ Taucher verbraucht an der Oberfläche eine Luftmenge von ca 20 bar *l* pro min



Das Diagramm zeigt den steigenden Luftverbrauch bei zunehmender Tauchtiefe. Außerdem sind die Änderungen eingezeichnet, wenn der Verbrauch um ± 10 % schwankt.

Beim vierfachen Umgebungsdruck in 30 m Tiefe ist der Verbrauch viermal so groß wie an der Oberfläche (80 *l* pro min).

Wenn 2 Taucher den gleichen Luftverbrauch haben und verschieden große Flaschen verwenden, bestimmt die geringere Luftmenge der kleineren Flasche den Beginn des Aufstiegs. In der Praxis kann nur der Flaschendruck abgelesen werden, daher rechnet man sinnvoll mit dem „verbrauchten Druck“.

15.2. Der „durchschnittliche Druckverbrauch“:

Der durchschnittliche Druckverbrauch **hängt von der verwendeten Flaschengröße ab.** In einer vollen 10 l-Flasche befindet sich eine Luftmenge von:

$$Luftmenge = Druck * Volumen = 200\ bar * 10\ l = 2000\ bar\ l$$

Bei einem „Luftverbrauch“ von 20 *l* pro min kann der Taucher damit an der Oberfläche

$$2000\ bar\ l : 20\ bar\ l / \text{min} = 100\ \text{min}$$ lang atmen.

Wenn der Taucher in 100 min einen Druck von 200 bar verbraucht, hat er an der Oberfläche einen **durchschnittlichen Druckverbrauch** von $200\ bar : 100\ min = 2\ bar/min$, der mit zunehmender Tiefe steigt.

15.3. Druckverbrauch während der Austauchphase:

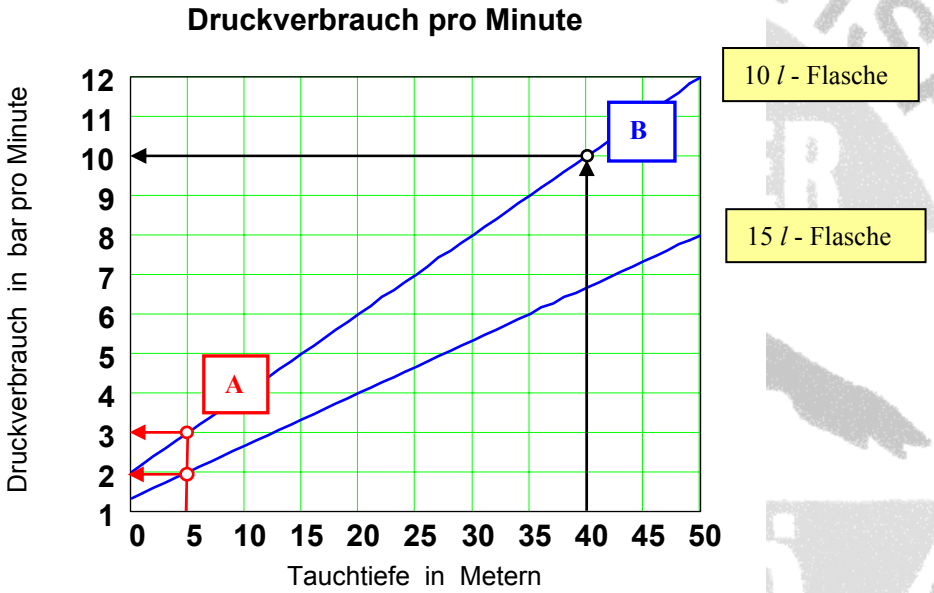
Die Dekompressionszeit wird überwiegend in 3 m Tiefe verbracht. Berücksichtigt man den tiefen Sicherheitsstopp in 15 m, **so kann während der Aufstiegsphase mit einer durchschnittlichen Tiefe von 5 m gerechnet werden.**

Ein Taucher hat in 5 m Tiefe (beim 1,5-fachen Umgebungsdruck) den 1,5-fachen Druckverbrauch:

$$2\ bar / \min * 1{,}5 = 3\ bar / \min$$

Eine 15 Liter-Flasche ist 1,5 mal so groß wie eine 10 Liter-Flasche, daher sinkt der „Druckverbrauch“ auf

$$\frac{3\ bar / \min}{1.5} = 2\ bar / \min$$



A

Der durchschnittliche Druckverbrauch eines Tauchers beträgt während der Austauchphase in einer durchschnittlichen Tiefe von 5 m mit einer

10 *l*-Flasche: 3 bar/min, mit einer **15 *l*-Flasche: 2 bar/min.**

B

Aus dem Diagramm lässt sich der Druckverbrauch für beliebige Tiefen und unterschiedliche Flaschengrößen ablesen. In 40 m Tiefe ist der Umgebungsdruck 5-mal so groß und der Druckverbrauch mit einer 10 *l* -Flasche beträgt:
5 * 2 *bar/min* = 10 *bar/min.*

Zur Bestimmung des Druckverbrauchs (bar/min) muss man die Tauchtiefe und das Flaschenvolumen kennen.

15.4. Druckverbrauch für den „standardisierten Aufstieg“:

Aufstieg aus 15 m in der Nullzeit mit einer durchschnittlichen 15-Liter-Flasche	Dauer	Verbrauch
tiefer Stopp: 3 min in 15 m	3 min zu je 2 bar/min	6 bar
Aufstieg 15 m → 5 m mit 10 m/min	1 min zu je 2 bar/min	2 bar
Nullzeitstopp: angenommen 5 min	5 min zu je 2 bar/min	10 bar
Aufstieg 5 m → Oberfläche mit 5 m/min	1 min zu je 2 bar/min	2 bar
der „standardisierte Aufstieg“ verbraucht		20 bar
Reservedruck		40 bar
Mindestdruck zu Beginn des Aufstiegs		60 bar

Für den „standardisierten“ Aufstieg zur Oberfläche (beginnend mit dem tiefen Stopp) sind bei Verwendung einer „durchschnittlichen“ 15 *l*-Flasche maximal 20 bar erforderlich.

> Wenn der Aufstieg innerhalb der Nullzeit spätestens mit 60 bar (50 bar) begonnen wird (rote Markierung am Finimeter = 50 bar), bleibt für einen möglichen Notfall ein Reservedruck von mindestens 40 bar (30 bar) übrig.

Wird eine Dekompressionszeit erforderlich, so muss der tiefe Stopp mit einem höheren Flaschendruck als 60 bar (50 bar) erreicht werden.

15.5. Abschätzung der Grundzeit:

Für die Abschätzung der Grundzeit wird ein auf 200 bar gefülltes Tauchgerät angenommen. Der zulässige Druckverbrauch für den Tauchgang vermindert sich um 60 bar für Reserve und standardisierten Aufstieg. Somit ergibt sich für den Tauchgang ein zulässiger Verbrauch von:

$$200\ bar - 60\ bar = 140\ bar.$$

Wenn der Druckverbrauch (wie im letzten Diagramm) mit einer 10-Liter-Flasche in 40 m Tiefe 10 bar/min beträgt, könnte der Taucher mit 140 bar überschlägig bis zu:

$$140\ bar : 10\ bar/min = 14\ min$$ lang tauchen.

Der tatsächliche Druckverbrauch hängt, wie schon erwähnt, vom Flaschenvolumen und von der Tauchtiefe ab. Der Druckverbrauch ist ein durchschnittlicher Richtwert. Je größer das Flaschenvolumen, desto länger ist grundsätzlich die Grundzeit. Bei erhöhtem Luftverbrauch kann sie deutlich kürzer werden. Die Grundzeit kann mit dem „TAUCHGANGSPLANER“ auf der Rückseite der Tabelle bestimmt werden.

- **Dekoreserve:**

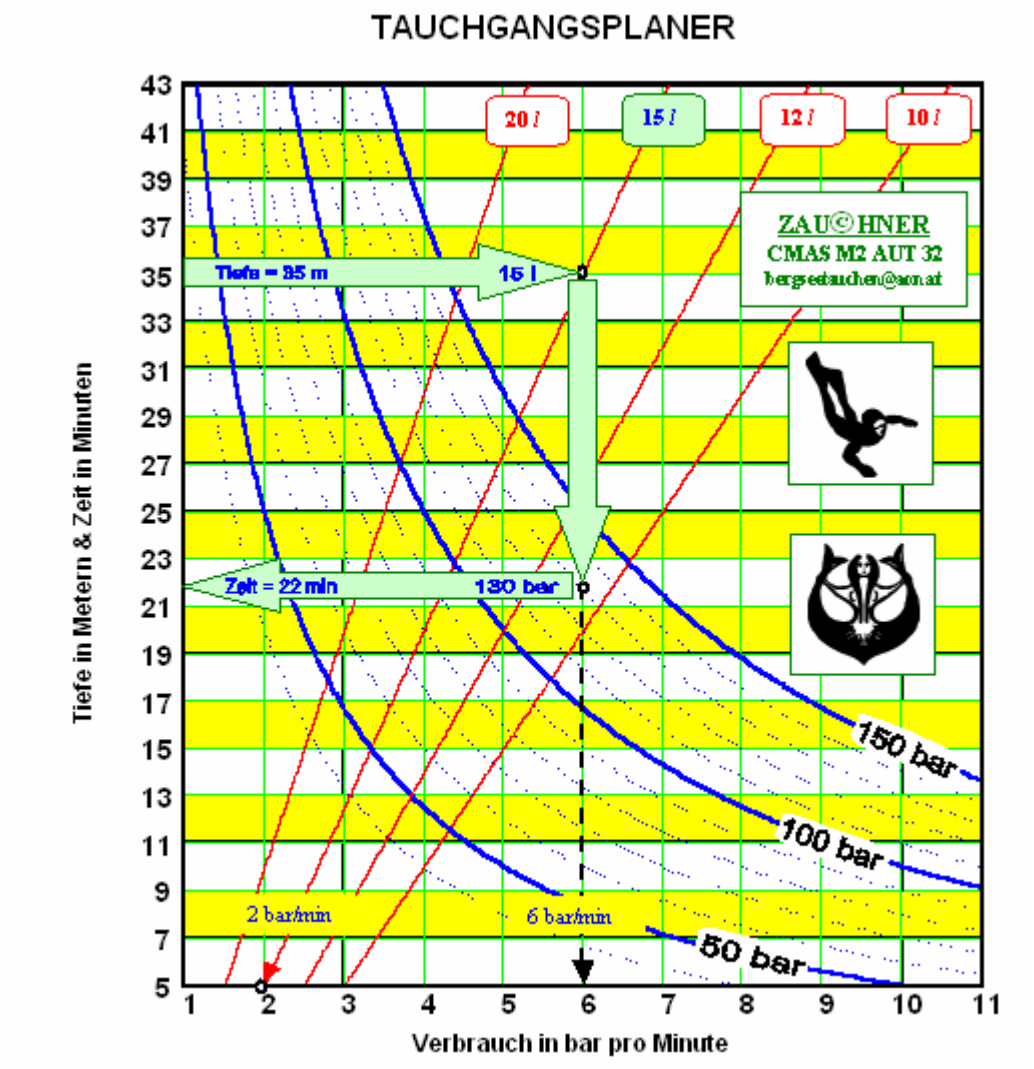
Wenn der Restdruck in der **10 *l*-Flasche** des Tauchers am Ende des Tauchgangs noch **45 bar** beträgt, könnte ein Taucher mit einem Dekoverbrauch von **3 bar/min** noch bis zu:

$$45\ bar : 3\ bar/min =$$ **15 min** dekomprimieren

In der Praxis lässt sich eine Tauchflasche gewöhnlich nicht leer atmen, weil ab etwa 10 bar das Atmen immer schwerer wird.

15.6. Der Tauchgangsplaner

- Von links oben nach rechts unten laufen die Kurven für den Flaschendruck.
- Von rechts oben nach links unten sind die „Flaschengrößen“ eingetragen
- Nach oben werden Tiefe & Grundzeit eingetragen
- Nach rechts findet man den Druckverbrauch in bar pro Minute



Die Drucklinien wurden nicht bis 200 bar (Nenndruck der vollen Flasche) gezeichnet, sondern nur bis 150 bar, weil für den „standardisierten Aufstieg“ und „Reserve“ genügend Druck übrig bleiben soll.

Planungsbeispiel: Wie lang kann mit einer 15-Liter-Flasche in 35 m Tiefe getaucht werden? 10 bar wurden für eine mögliche Dekompression reserviert. Am Ende muss überprüft werden, ob 10 bar überhaupt ausreichen. Es wird vorläufig angenommen, dass ein Druck von 140 bar – 10 bar = 130 bar zur Verfügung steht.

⇒ **Schritt 1, Tiefe → Flaschenvolumen:** 35 m → 15 *l* ergibt einen Verbrauch von 6 bar/min.

Der oberste Pfeil zeigt von der Tiefe 35 m nach rechts zum Flaschenvolumen 15 *l*. Wo die Tiefe das Volumen „schneidet", findet man senkrecht ganz nach unten (den Pfeilen entlang) den Verbrauch 6 bar/min. Die senkrechten Pfeile markieren die gedachte **„Verbrauchslinie"** 6 bar/min.

⇒ **Schritt 2, Druck → Zeit:** 130 bar → 22 min.

Von dort, wo die senkrechte Verbrauchslinie die gekrümmte Drucklinie von 130 bar „schneidet", führt der untere Pfeil nach links zurück zur Zeit. Mit 130 bar kann eine Grundzeit von ca. 22 min genützt werden.

⇒ **Schritt 3, Flaschenvolumen → Dekoverbrauch:** 15 *l* → 2 bar/min

Die Kennlinie für das Flaschenvolumen 15 *l* zeigt direkt auf den Druckverbrauch 2 bar/min in 5 m Tiefe. In einer durchschnittlichen Dekompressionstiefe von 5 m verbraucht ein durchschnittlicher Taucher mit einer 15-Liter-Flasche 2 bar/min.

15.7. Planungsbeispiel mit der NITROX 21 Tabelle:

Wenn die geplanten Tiefen und Zeiten nicht mit Tabellenwerten übereinstimmen, wird **immer der nächst größere Wert** gewählt.

1.Tauchgang:

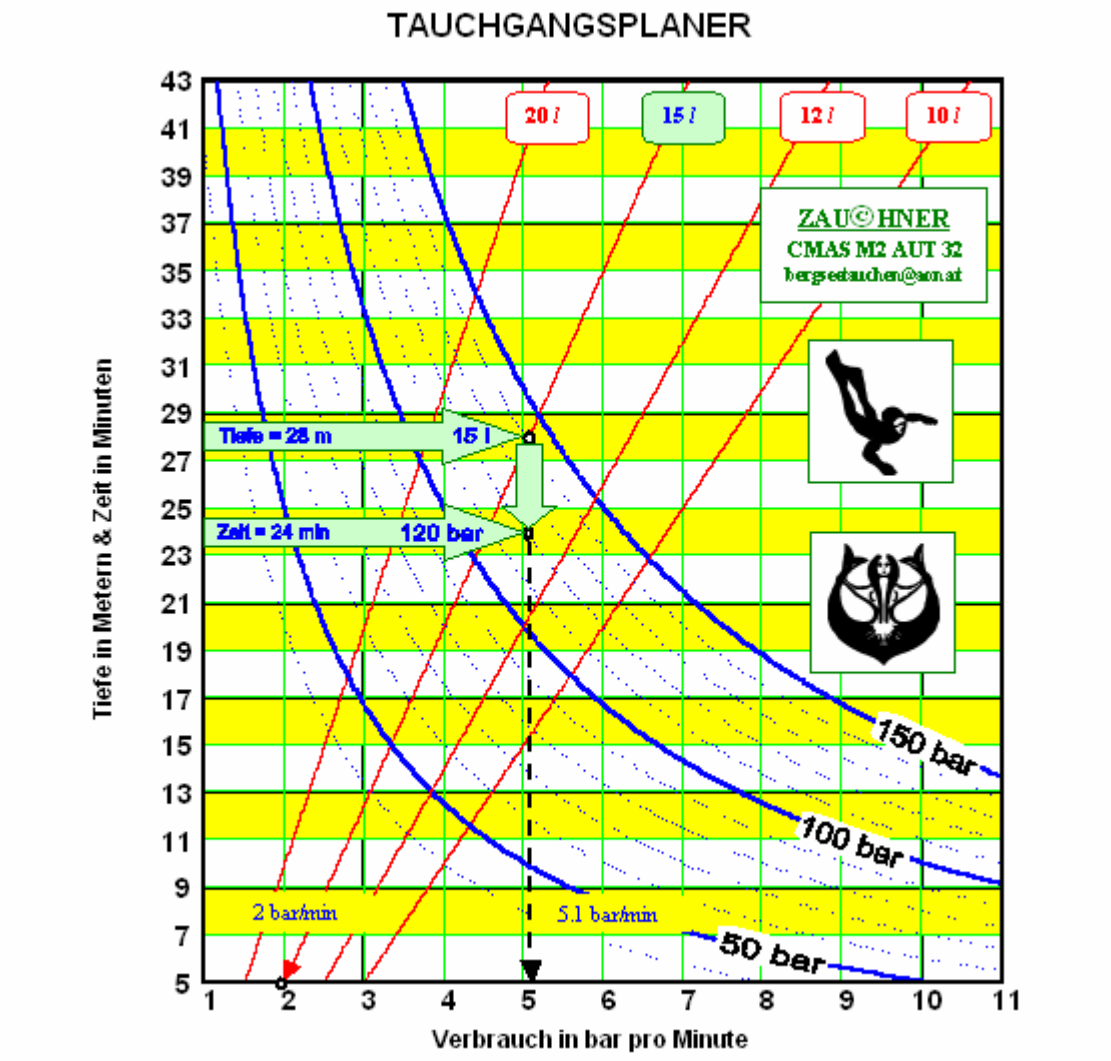
Seehöhe = 1000 m
Geplante Tiefe = 28 m
Geplante Zeit = 24 min
Flaschenvolumen = 15 *l*

In der Praxis wird gewöhnlich nicht die Zeit geplant, sondern der Taucher will wissen, wie lange er mit der vorhandenen Luft auskommen wird.

Für 1000 m beträgt der Tiefenzuschlag **10 %**
Rechentiefe = 28 m + 10 % = 30.8 m
Die nächst größere Tabellentiefe ist **33 m**
Tiefer Stopp 3 min in halber Tiefe: 14 m
Die nächst längere Tabellenzeit ist **25 min**
NITROX 21 fordert für 33 m / 25 min: **2 + 6 E**

30 m / 17' C					
	25			5	D
	30		2	6	F
	35		3	11	F
	40		5	16	G

33 m / 12' A					
	~~20~~			4	D
	25		2	6	E
	~~30~~		4	9	F
	35	1	5	15	G



Schritt 1: Tiefe → Flaschenvolumen: 28 m Tiefe mit einer 15-Liter-Flasche ergeben einen Druckverbrauch von ca 5,1 bar/min.

Schritt 2: Zeit → Druck: in 24 min werden ca 120 bar verbraucht.

In 28 m Tiefe verbraucht ein durchschnittlicher Taucher in 24 min mit einer 15-Liter-Flasche etwa 120 bar.

Für die Dekompression stehen 140 *bar* – 120 *bar* = 20 *bar* zur Verfügung.

Schritt 3: Dekoverbrauch 15 l → 2 bar/min: Der Druckverbrauch für die Dekompression 2 + 6 E beträgt mit der 15-Liter-Flasche nur: (2 + 6) *min* x 2 *bar/min* = 16 *bar*. Der Tauchgang kann voraussichtlich mit einer vollen 15-Liter-Flasche durchgeführt werden.

Mindestdruck für den Aufstieg:

60 bar + Dekozeit x 2 bar/min = 60 bar + (2 + 6) min x 2 bar/ min =
= 60 bar + 16 bar = 76 bar.

Der Aufstieg soll spätestens mit einem Druck von 76 bar begonnen werden.

Es ist nicht sinnvoll, genauer zu rechnen, weil der Verbrauch stark schwankt. Es ist auch nicht sinnvoll, den Luftverbrauch beim Tarieren zu berechnen, denn er wird durch den verminderten Luftverbrauch während des Aufstiegs zum tiefen Sicherheitsstopp kompensiert.

Sicherheitsstopp und Aufstieg aus 15 m dauern maximal 10 min und verbrauchen höchstens 20 bar. Der Aufstieg muss daher mit:

60 bar (für Reserve & Stopp & Aufstieg) + Dekoverbrauch

begonnen werden.

Die **Oberflächenpause** zwischen zwei Tauchgängen ist gewöhnlich zu kurz, dass sich alle Gewebe auf ihren Anfangswert entsättigen können. Man versucht den verbleibenden Inertgasrest in den Geweben durch die **„Rest-Stickstoff-Zeit" der Wiederholungstabelle** zu berücksichtigen. Wenn der Tauchgang beginnt, ist diese „Rest-Stickstoff-Zeit" scheinbar schon vergangen. Die Nullzeit wird daher um diesen Wert verkürzt, während die rechnerische Grundzeit um diesen Wert verlängert wird.

Die **„Rest-Stickstoff-Zeit"** ist der tiefenabgängige **Zeitzuschlag**, welcher der Wiederholungstabelle entnommen wird.

Der Inertgasdruck langsamer Gewebe steigt mit jedem Folgetauchgang. Das heißt, dass die Zeitzuschläge mit jedem Wiederholungstauchgang länger werden müssten. Für den ersten Wiederholungstauchgang sind die Zuschläge daher zu lang, während sie für den zweiten besser passen. Für einen dritten Wiederholungstauchgang sind die Zuschläge bereits zu kurz. Es sind daher maximal 3 Tauchgänge pro Tag zulässig.

Da die Aufsättigung eines Gewebes nicht von der Bergseehöhe, sondern nur von der Tauchtiefe abhängt, gibt es bei Bühlmann auch nur eine einzige, **höhenunabhängige Wiederholungstabelle**.

2.Tauchgang:

Deko Ersttauchgang: **2 + 6 E**
Oberflächenpause: 2 Stunden
(Verminderung der Wiederholungsgruppe von E nach A)
Beabsichtigte Tiefe: 26 m
Beabsichtigte Grundzeit: 24 min

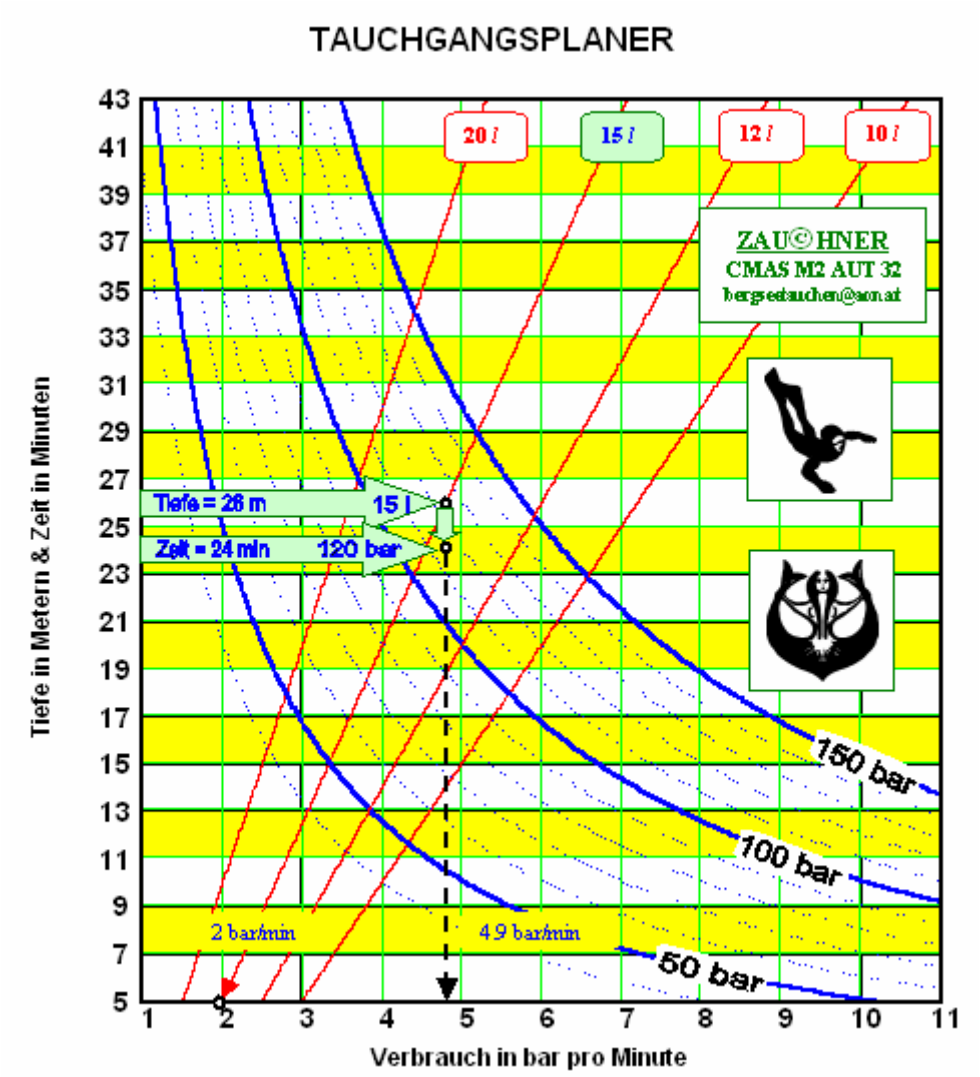
Tiefe: zwischen 24 und 27 m
Oberflächenpause: zwischen 45 min und 4 Stunden
Nächstgrößerer Zeitzuschlag: **11 min**
Gesamtzeit: 24 min + 11 min = 35 min
Tiefe mit 10 % Zuschlag 26 m + 2,6 m = 28,6 m
Nächst größere Tabellentiefe: **30 m**
Dekompression für 30 m / 35 min: **3 + 11 F**
tiefer Sicherheitsstopp gewählt: 3 min in halber Tiefe

21 37° C	50			6	F
	60			13	G
	70			21	G
	80		1	29	H
24 26° C	35			3	E
	40			6	F
	45			10	F
	50			15	G
27 20° C	30			4	E
	35		1	7	F
	40		1	12	F
	45		3	16	G
30 17° C	25			5	D
	30		2	6	F
	35		3	11	F
	40		5	16	G
33 12° A	20			4	D
	25		2	6	E
	30		4	9	F
	35	1	5	15	G

Oberflächenpause in min							„0“ Std.	FLY Std.
						A	2	2
					B	20	2	2
				C	10	25	3	3
			D	10	15	30	3	3
RG		E	10	15	25	45	4	3
	F	20	30	45	75	90	8	4
G	25	45	60	75	100	130	12	5
H	65	95	130	180	240	340	24	7

9	130	105	81	55	37	25
12	111	82	57	37	25	19
15	88	59	41	29	20	16
18	68	44	33	25	17	14
21	53	37	28	22	15	12
24	42	30	24	20	13	11
27	35	26	21	18	12	10
30	30	23	19	16	11	9
33	27	21	17	14	10	8
36	24	19	15	12	9	7

Der **Tiefenzuschlag** passt die erforderliche Dekompression an den Bergsee an.
Der **Zeitzuschlag** berücksichtigt den vorangegangenen Tauchgang.



Der für den Tauchgang erforderliche Flaschendruck ist etwas weniger als 120 bar. Für Aufstieg und Dekompression stehen somit 80 bar zur Verfügung

Der Aufstieg mit einer 15 Liter Flasche muss spätestens mit
60 bar + Dekozeit x 2 bar/min = 60 bar + (3 min + 11 min) x 2 bar/min = **88 bar**
begonnen werden. Daher wird der Tauchgang voraussichtlich etwas kürzer.

Der „Druckverbrauch“ kann während des Tauchganges jederzeit und direkt (ohne Umrechnung) mit dem Finimeter überprüft werden.

16. Tauchmedizin: Erweitert von Dr. med. Wilfried Beuster

16.1. Die Atmung

Mit der Nahrung aufgenommene Stoffe werden in den Körperzellen „verbrannt“ Für diesen Vorgang ist Sauerstoff erforderlich. Alle Zellen nehmen Sauerstoff (O_2) auf und geben Kohlendioxid (CO_2) ab. Die Aufgabe der Atmung besteht darin, die Zellen über das Blut mit O_2 zu versorgen und das CO_2 aus dem Körper zu entfernen. Atmung und Kreislauf sind funktionell eng miteinander verbunden.

Die Luft wird durch Mund und/oder Nase, über die Luftröhre und die Bronchien bis in die kleinsten Aufteilungen der Atemwege, in die „Lungenbläschen“ (Alveolen), geleitet. Diese bilden in der Summe eine große Oberfläche, an der sich der Gasaustausch vollzieht. Durch diese große „Membrane“ gelangt Sauerstoff aus der Luft direkt in die angrenzenden Haargefäße (Kapillaren) der Lunge, während Kohlendioxid aus dem Blut in die Lungenbläschen strömt. Die Richtung des Gastransports entspricht dem Konzentrationsgefälle (Partialdruckgefälle), d. h. der Gastransport erfolgt vom Ort der höheren zum Ort der niedrigeren Gaskonzentration. Der Vorgang läuft passiv ab und wird als „Diffusion“ bezeichnet.

16.2. Blut und Kreislauf:

Das Blut besteht aus Flüssigkeit (Plasma) und festen Bestandteilen (rote und weiße Blutkörperchen, Blutplättchen). Es dient als Transportmittel und versorgt die Körpergewebe mit Sauerstoff und Nährstoffen. Auch der Abtransport von Stoffwechselprodukten (z. B. CO_2) aus den Zellen erfolgt über das Blut.

Das Herz pumpt als zentraler Motor mit seiner linken Kammer das von der Lunge kommende, mit Sauerstoff angereicherte Blut in die Arterien des sog. „großen Kreislaufs“. Die Arterien teilen sich immer weiter auf, werden schließlich in der Körperperipherie zu Kapillaren und versorgen die Organe (Gehirn, Herzmuskel, Magen-Darm-Trakt, Muskeln, Niere, Haut usw.) mit Sauerstoff und Nährstoffen. Das bei den Verbrennungsvorgängen entstehende CO_2 wird aus den Zellen ins Blut abgegeben.

Durch Venen, die durch Zusammenflüsse immer größer werden, gelangt das CO_2-reiche Blut zurück zum Herz und wird im sog. „kleinen Kreislauf“ von der rechten Herzkammer in die Lunge gepumpt. In den Lungenkapillaren wird CO_2 aus dem Blut in die Lungenbläschen abgegeben, das Blut wird mit O_2 angereichert und wieder der linken Kammer zugeführt.

Die Blutversorgung des Körpers richtet sich einerseits nach dem momentanen Bedarf, andererseits nach der Wichtigkeit der Organe. Z. B. verengen sich bei einem größeren Blutverlust die Blutgefäße in der Peripherie, damit die Versorgung zentraler, lebenswichtiger Organe wie Herz und Gehirn aufrechterhalten bleibt. Bei niedrigen Außentemperaturen verengen sich vorwiegend die Gefäße unter der Haut um eine unnötige Wärmeabgabe beim Abkühlen der Körperoberfläche zu verzögern.

Der zur Versorgung der Gewebe erforderliche Sauerstoff wird hauptsächlich chemisch an die roten Blutkörperchen gebunden transportiert. Darüber hinaus löst sich aber auch ein kleiner Anteil physikalisch in der Blutflüssigkeit (Gesetz von Henry). Dieser Teil hat unter atmosphärischen Bedingungen kaum eine Bedeutung, kann aber unter Überdruck eine wesentliche Rolle spielen.

16.3. Luftgefüllte Hohlräume des Körpers und Druckausgleich:

Eine ganze Reihe von Hohlräumen des Körpers stehen direkt oder indirekt mit den Atemwegen in Verbindung und sind daher mit Luft gefüllt. Ein „künstlicher“ Hohlraum, der über die Nasenöffnung mit diesem System verbunden ist, ist der Innenraum der Tauchermaske.

Als weiterer gasgefüllter Hohlraum ist der Magen-Darm-Trakt zu betrachten. In ihm können sowohl (verschluckte) Luft als auch bei der Verdauung entstehende Gase druckwirksam werden und im Extremfall beim Auftauchen zu Verletzungen führen.

Herrscht in der Umgebung derselbe Druck, wie in diesen Hohlräumen, ist der Druck „ausgeglichen“. Wird der Druck nur einseitig erhöht, wie es z. B. beim Abtauchen der Fall ist, wird das Gas in den Körperhöhlen komprimiert, wenn diese eine flexible Begrenzung haben.

Wird z. B. der Brustkorb durch den zunehmenden Wasserdruck zusammengedrückt, wird auch eine Kompression der Luft in der Lunge bewirkt. Solange diese komprimierte Luft in alle an die Atemwege angrenzenden Höhlen gelangt, entspricht der Luftdruck dem Druck des umgebenden Wassers – es gibt keine Druckdifferenz. Hat der Hohlraum starre Wände, die nicht komprimierbar sind, wie die „Nasennebenhöhlen“, und ist die Verbindung zu diesem Hohlraum erschwert oder unterbrochen, entsteht in ihm ein relativer Unterdruck, der zu Schädigungen führen kann.

Die Schädigung tritt immer nach dem gleichen Muster auf: Der relative Unterdruck erzeugt einen Sogeffekt, der zur vermehrten Blutansammlung in den Gefäßen der Schleimhaut, welche die Höhle auskleidet, führt. Die Schleimhaut schwillt dadurch an, was durch Dehnung der Schleimhaut mit zum Teil starken Schmerzen verbunden ist. Wird weiter abgetaucht, tritt aus den Blutgefäßen Blutflüssigkeit (Plasma) oder Blut in die Höhle aus, wodurch die eingeschlossene Luft komprimiert wird. Der Flüssigkeitsaustritt „erzwingt“ also den Druckausgleich. Ist der Druck in der Höhle dem Umgebungsdruck angepasst, nehmen auch die Schmerzen wieder ab.

Beim Aufstieg dehnt sich dann die in der Höhle komprimierte Luft wieder aus. Dabei verdrängt sie auch die Flüssigkeit (meist Blut) nach außen in die Nasenhöhle und weiter in den Maskenraum – Blut vermischt sich mit Restwasser und wird in der Tauchermaske sichtbar. Obwohl die Schädigung – das sog. „Barotrauma“ – beim Abtauchen eingetreten ist, werden die Auswirkungen für Tauchpartner erst beim Auftauchen sichtbar.

Daraus folgt: Sobald beim Abstieg Schmerzen im Bereich der Ohren oder der Nasennebenhöhlen auftreten, weisen diese auf einen ungenügenden Druckausgleich hin. Es muss daher auf **rechtzeitige Druckausgleichmanöver** beim Abtauchen geachtet werden: Luft sollte – noch vor dem Auftreten von Schmerzen – wiederholt durch die Eustachische Röhre ins Mittelohr bzw. durch die Nase in den Maskenraum „eingeblasen“ werden.

Funktioniert der Druckausgleich nicht, muss der Tauchgang abgebrochen werden!

16.3.1. Barotrauma:

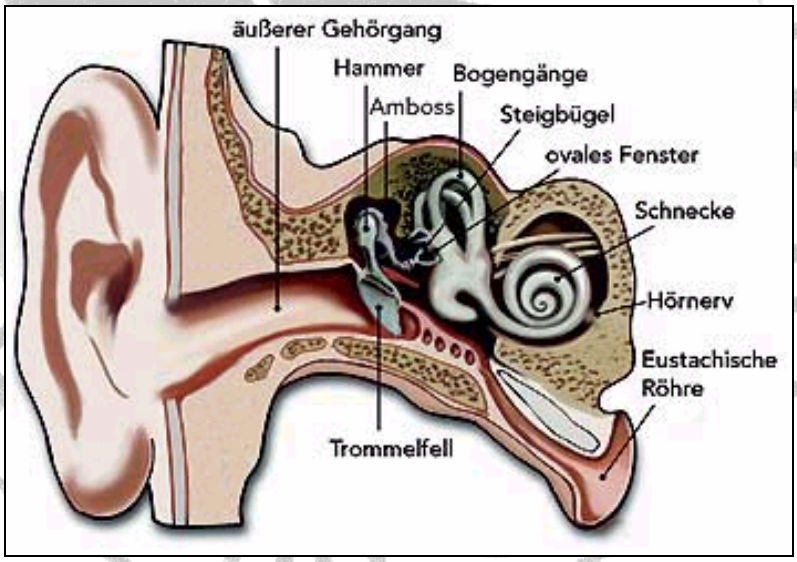
Mit diesem Begriff (griechisch: Baros = Druck, Trauma = Schaden) werden alle „Schädigungen“ bezeichnet, die durch einen relativen Unter- oder Überdruck zwischen einem gasgefüllten Hohlraum des Körpers und der Umgebung entstehen.

- **Nasennebenhöhlen:**

Dazu zählen die Stirnhöhlen, Kieferhöhlen, die Keilbeinhöhle und die Siebbeinzellen. Sie sind über kleine Öffnungen oder Knochenkanäle mit der Nasenhöhle verbunden, durch welche die Atemluft permanent ein- und austreten kann. Die Nase, die Verbindungsgänge und die Nebenhöhlen sind mit Schleimhaut ausgekleidet, die auf Erkrankungen und Druckunterschiede mit einer Schwellung reagiert. Infolge einer einfachen Erkältung kann die Verbindung zu einer Nebenhöhle verlegt sein, so dass kein Druckausgleich möglich ist.

- **Ohren:**

Beim Ohr werden drei Hauptteile unterschieden: **Das äußere Ohr** umfasst die Ohrmuschel und den äußeren Gehörgang. Das Trommelfell trennt das äußere Ohr vom **Mittelohr**. Dieses wird von der sog. „Paukenhöhle“ gebildet, die über die „Ohrtrompete“ (= „Eustachische Röhre“) mit dem Nasen-/Rachenraum verbunden ist. Im Mittelohr liegen die drei „Gehörknöchelchen“ (Hammer, Amboss, Steigbügel). Das erste, der „Hammer“, ist an seinem Stiel mit dem Trommelfell verwachsen. Schwingt das Trommelfell, muss der Hammer dessen Bewegungen folgen. Die Bewegungen werden dann über den Amboss und den Steigbügel zum **Innenohr** fortgeleitet. Im Innenohr befindet sich das eigentliche Hörorgan (die „Schnecke“), in dem die Schwingungen wahrgenommen, in Nervenimpulse umgewandelt und zum Hirn weiter geleitet werden. Das Gleichgewichtsorgan („Labyrinth“), dessen Bogengänge sich nahe der Paukenhöhle befinden, liegt ebenfalls im Innenohr.



Anders als die Nasennebenhöhlen wird das Mittelohr über die Ohrtrompete nicht ständig belüftet, da deren rachenseitiges Ende normalerweise verschlossen ist und sich nur bei bestimmten Bewegungen öffnet. Schluck- oder Kaubewegungen, Gähnen, Schnäuzen oder bestimmte gesprochene Laute bewirken, dass Luft durch die Eustachische Röhre ins Mittelohr gelangt. Auch diese Verbindung und das Mittelohr selbst sind mit Schleimhaut ausgekleidet.

Taucht man ab und führt nicht rechtzeitig ein Druckausgleichmanöver durch oder ist dies aufgrund einer Schleimhautschwellung nicht möglich, laufen auch im Mittelohr die bereits beschriebenen Ereignisse ab. Der Unterschied zu den starrwandigen Nebenhöhlen ist jedoch der, dass mit dem elastischen Trommelfell ein weiterer Faktor dazu kommt:

Beim Abtauchen wölbt es sich durch den zunehmenden Wasserdruck nach innen, was aufgrund der guten Versorgung mit Nerven und der Dehnung zu starken Schmerzen führt. Gleichzeitig beginnt die Schleimhaut des Mittelohres anzuschwellen, evtl. auch Sekret auszutreten. Wird trotzdem weiter abgetaucht, kann entweder das Trommelfell reißen, oder die Einblutung des Mittelohres ohne Riss des Trommelfells einen Druckausgleich erzwingen.

Bei Trommelfellriss dringt relativ kaltes Wasser ins Mittelohr ein, was durch die räumliche Nähe zum Gleichgewichtsorgan zu dessen Irritation führt. Der Taucher wird schwindelig und kann die Orientierung verlieren. Nicht selten war eine solche Situation Ursache für einen tragischen Ausgang. Spätere Probleme sind oft Infektionen des Mittelohres, evtl. auch bleibende Gehörschäden. Eine möglichst rasche ärztliche Behandlung kann weitere Probleme meistens vermeiden.

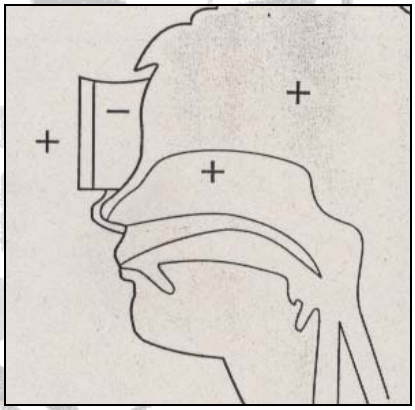
Auch die Verwendung von eng anliegenden Kopfhauben des Tauchanzuges oder von „Ohrenstöpseln“ können den Druckausgleich behindern und Trommelfellverletzungen verursachen. Sie dürfen daher beim Tauchen nicht verwendet werden. Mitunter hilft ein kleines Loch in der Kopfhaube auf Höhe der Gehörgänge, um dieser Gefahr zu begegnen.

Sofortmaßnahmen bei Barotraumen der Nasennebenhöhlen und des Ohres: Nach dem Tauchgang Anwendung von schleimhautabschwellenden Mitteln (Nasentropfen oder Nasensprays – **keine „Ohrentropfen“!**), damit die betroffenen Abschnitte wieder belüftet werden und ein Druckausgleich erreicht wird. Eine fachärztliche Kontrolle ist vor weiteren Tauchgängen erforderlich.

- **Augen:**

Beim Abtauchen drückt der steigende Umgebungsdruck die Maske immer fester ans Gesicht, bis der Maskenkörper nicht mehr nachgeben kann. Wird nicht durch die Nase in die Maske ausgeatmet, entsteht durch den relativen Unterdruck eine Sogwirkung auf das umschlossene Gewebe. Die empfindliche Bindehaut des Auges reagiert mit einer Erweiterung der Gefäße und mit einer Einblutung. Die Verletzung ist an sich harmlos, allerdings sind die Folgen 14 Tage oder länger zu sehen.

Das Gleiche passiert beim Abtauchen mit Schwimmbrillen, die keine Verbindung zur Nase und damit keine Möglichkeit eines Druckausgleichs haben.



Barotrauma der Augen

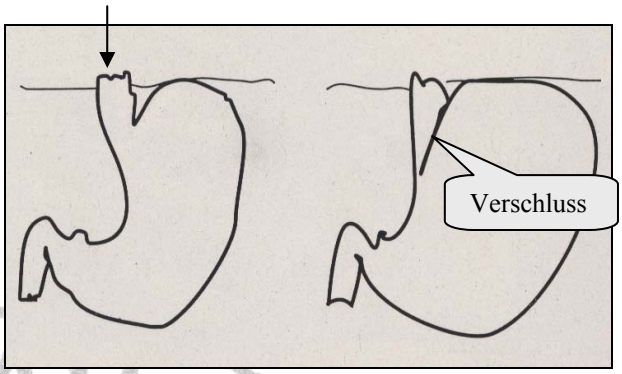
- **Zähne:**

Sogar Zähne können beim Tauchen Schwierigkeiten machen. Schlecht sitzende Füllungen oder Kronen können durch Bildung von „Haarrissen“ ein Einströmen von Druckluft in das Zahninnere zulassen. Die Schmerzen können beim Abstieg oft noch erträglich sein und werden beim Aufstieg stärker, wenn die sich ausdehnende Luft nicht mehr entweichen kann und auf die Zahnnerven drückt. Im Extremfall können sogar Lockerung von Kronen bzw. Plomben oder Aussprengungen von Teilen des betroffenen Zahns folgen.

Eine regelmäßige zahnärztliche Kontrolle ist daher Tauchern unbedingt zu empfehlen.

- **Magen:**

Wenn beim Ausblasen der Maske Probleme auftreten, kann es sein, dass ein Taucher dabei **Luft schluckt**, die sich dann beim Aufstieg ausdehnt und nicht mehr über die Speiseröhre oder in tiefer gelegene Darmabschnitte entweichen kann. Besonders die letzten 10 Meter zur Wasseroberfläche sind kritisch, weil sich hier das Gasvolumen verdoppelt. Spätestens während des Nullzeitstopps muss der Taucher die Luft wieder „auf natürlichem Weg" los werden, weil sonst ein Magenriss droht. Werden die Schmerzen zu stark, hilft nur ein neuerlicher Abstieg um einige Meter mit abschließend noch langsamerem Aufstieg.



Barotrauma des Magens

- **Lunge:**

Der größte, luftgefüllte Hohlraum des menschlichen Körpers ist die Lunge. Sie ist als Organ, das für die Atmung und die Aufnahme und/oder Ausscheidung von O_2, CO_2 und Inertgasen zuständig ist, für das Tauchen von zentraler Bedeutung.

Beim Freitauchen wird die eingeatmete Luft während des Abstieges im Brustkorb komprimiert, bis dieser die maximale „Ausatemstellung" erreicht. Das Zwerchfell wölbt sich in den Brustkorb vor und verkleinert dadurch das Lungenvolumen. Wird weiter abgetaucht und der Punkt erreicht, an dem das Lungengewebe nicht mehr dichter komprimiert werden kann, entsteht in den starrwandigen Atemwegen (Bronchien und Luftröhre) ein Unterdruck, der zu einem Eintritt von Plasma in die Lungenbläschen („Lungenödem") führt. Wie bei den Nebenhöhlen, wird dadurch der Druckausgleich erzwungen.

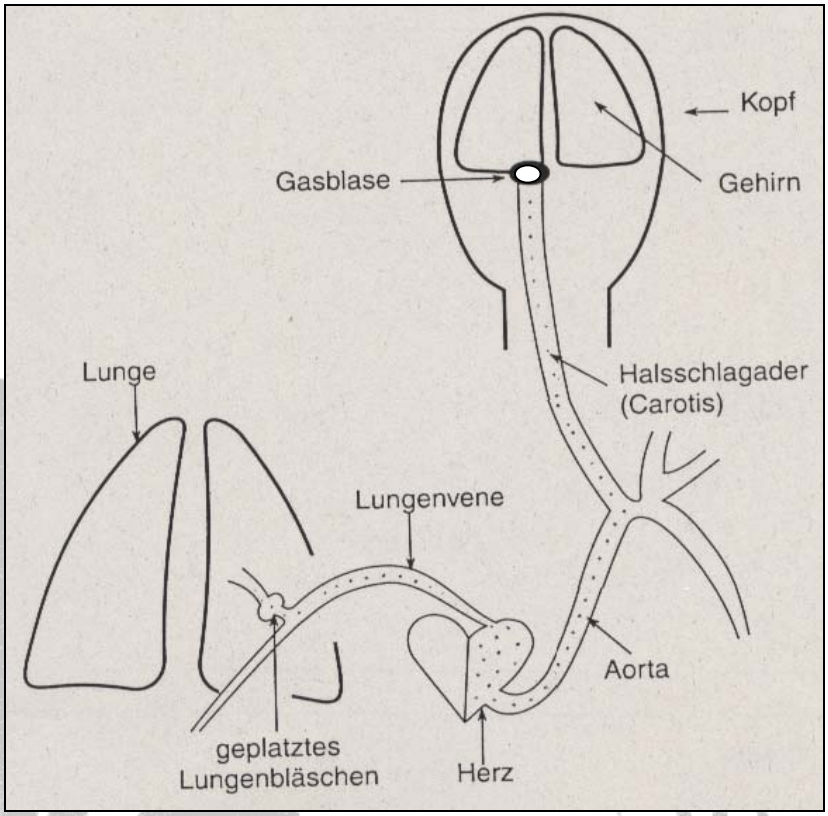
In der Lunge folgt daraus jedoch eine Atembehinderung, da die Gasaustauschfläche verkleinert wird. Eine dadurch bedingte Atemnot kann ein ernstes Problem darstellen.

Der Aufstieg selbst ist keine Gefahr, da sich die Lunge beim Freitauchen maximal bis zu ihrem Ausgangsvolumen ausdehnen kann – es wurde ja unter Wasser nicht eingeatmet.

Anders verhält es sich beim Gerätetauchen:

Hier wird durch den Lungenautomaten Luft unter Umgebungsdruck geatmet. Wird die Luft beim Aufstieg ungenügend ausgeatmet, dehnt sie sich aus und kann eine Überdehnung bzw. einen Riss der Lungenbläschen nach sich ziehen. Luft kann aus den Lungenbläschen in die eröffneten Gefäße, welche die Alveolen netzartig umgeben, eindringen und mit dem Blutstrom ins Herz und in weiterer Folge in die großen Arterien geschwemmt werden, bis Gasbläschen das Gefäß verschließen (sog. „Arterielle Gasembolie"). Meist ist davon eine Hirnarterie betroffen und verursacht neurologische Ausfälle wie z. B. Extremitätenschwäche, (Halbseiten-)Lähmung, Sprach-, Seh- und Gleichgewichtsstörungen. In schweren Fällen sind ein Bewusstseinsverlust oder Kreislaufstillstand möglich.

Die Gründe für einen Aufstieg mit ungenügender Ausatmung sind vielfältig. Oft ist ein **Panikverhalten** schuld, das auf leichtsinnige Handlungen, Fehleinschätzungen oder unzureichende Ausbildung zurückzuführen ist. Es kann aber auch bei völlig gesund erscheinenden Tauchern die Abatmung des Druckgases z. B. durch eine unbemerkt auftretende, vermehrte **Schleimbildung** in den Bronchien verzögert sein, die der Betreffende gar nicht bemerkt. Wird zu rasch und direkt zur Wasseroberfläche aufgestiegen, unterliegt der Taucher dann ebenfalls dem Risiko einer Lungenüberdehnung mit all ihren Folgen.



Arterielle Gasembolie

Achtung: Für eine Lungenüberdehnung genügt ein Aufstieg nach Atmung von komprimierten Gasen in weniger als 2 m Wassertiefe!!! Ein schneller Aufstieg kann den Taucher (trotz aktiver Ausatmung) gefährden, wenn die Luft aufgrund von Hindernissen in den Atemwegen nicht problemlos abströmen kann!

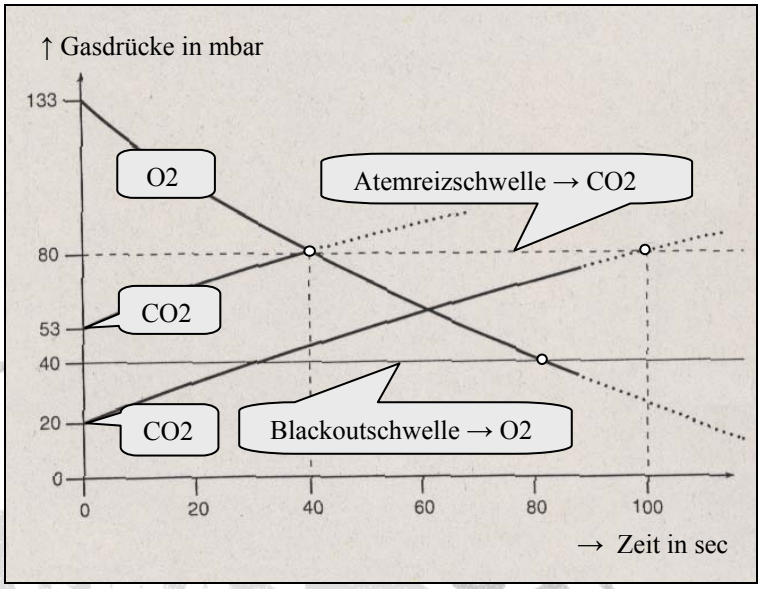
Sofortmaßnahmen bei Lungenüberdehnung: Siehe unter 16.4 „Dekompressionsunfall“.

> Die sichersten Maßnahmen zur Vermeidung einer Lungenüberdehnung sind: Langsamer Aufstieg, Einhalten der Sicherheitsstopps und Vermeidung von Panik durch eine solide Tauchausbildung und „gleichmäßig weiteratmen“.

16.3.2. Hyperventilation:

Beim Freitauchen sinkt der Sauerstoffdruck im Blut aufgrund von Stoffwechselvorgängen, während der CO_2 –Druck steigt. Der Atemreiz wird durch den CO_2 –Druck gesteuert. Wenn man vor dem Freitauchen minutenlang verstärkt ein- und ausatmet, kann man den CO_2 Spiegel im Blut beispielsweise von 53 auf 20 mbar absenken und damit den Atemreiz von 40 auf 100 sec „hinausschieben“. Durch das verstärkte Atmen kann jedoch praktisch nicht mehr Sauerstoff aufgenommen werden.

Wenn in 80 sec der Sauerstoffdruck auf 40 mbar abgesunken ist, wird der Taucher **ohne Vorzeichen bewusstlos, bevor ein Atemverlangen auftritt** („Schwimmbadblackout“ beim Streckentauchen).



Sofortmaßnahmen:

Retten aus dem Wasser, Herz-Lungen-Wiederbelebung (HLW) nach Erfordernis, oft (durch CO_2-Anstieg) rasch einsetzende Spontanatmung, frühzeitige O_2-Gabe über dicht sitzende Maske, Atmungs- und Pulskontrolle, Alarmierung des Rettungsdienstes.

16.4. Dekompressionsunfall:

Unter dem Begriff „Dekompressionsunfall“ (engl. **„Decompression Incident, Decompression Illness, DCI“**) werden alle Erscheinungsbilder zusammen gefasst, die durch eine Lungenüberdehnung mit anschließender arterieller Gasembolie (engl. **„Arterial Gas Embolism, AGE**“) oder eine Blasenbildung in den Geweben aufgrund einer unzureichenden Dekompression (= „Dekompressionskrankheit“, engl. **„Decompression Sickness, DCS“**) entstehen.

Die „klassischen“ Ursachen dafür, wie z. B. ein zu rascher Aufstieg durch Atemgasmangel oder Panik mit ungenügender Ausatmung oder dass ein Taucher vorgegebene Aufstiegspausen nicht einhält und den Inertgasen in den Geweben nicht die Gelegenheit gibt, abgeatmet zu werden, bevor schädigende Bläschen entstehen, sind in der Praxis nur bei einem Teil der Verunfallten zu finden. In mehr als 50 % der Fälle wurden die Vorgaben der Tabellen bzw. Tauchcomputer eingehalten und trotzdem sind Symptome eines Dekompressionsunfalls aufgetreten.

Viele Faktoren, die nicht durch Tabellen oder Computer erfasst werden, spielen in der Praxis eine wichtige Rolle und können eine DCI begünstigen: Häufige Wiederholungstauchgänge mit kurzen Oberflächenpausen (Anhäufung von Reststickstoff), Flüssigkeitsdefizit (ungenügende Flüssigkeitszufuhr, Sonnenbäder, Alkoholkonsum), Erkrankungen (besonders wenn dadurch vermehrt Flüssigkeit verloren wird, wie, z. B. Erbrechen, Durchfälle), Medikamentenkonsum (z. B. harntreibende Substanzen), Schlafmangel, schlechte körperliche Verfassung usw.

Als weiterer Schritt zur Vermeidung von Dekompressionsunfällen erscheint daher die **Einführung eines „tiefen Sicherheitsstopps“** sinnvoll, damit Inertgas während des Aufstiegs in Lösung bleibt und abgeatmet werden kann, bevor sich zahlreiche Mikrobläschen bilden und beim Aufstieg vergrößern.

Wichtig ist es zu wissen und zu akzeptieren, dass Symptome eines Dekompressionsunfalls trotz Einhalten aller Sicherheitsvorgaben auftreten können und als solche erkannt werden müssen. Erst wenn die Zeichen richtig gedeutet werden, können korrekte Erste Hilfe Maßnahmen eingeleitet werden. Werden Symptome ignoriert oder falsch interpretiert, werden auch die wesentlichen Maßnahmen, die bei einem Tauchunfall rasch zu ergreifen sind, verzögert.

Die Symptome sind meist vor Ort nicht in DCS und AGE zu unterscheiden, ein Versuch wäre auch nur Zeitverschwendung, da die Erste Hilfe in beiden Fällen identisch ist. Wir unterscheiden heute daher nur mehr „milde“ von „schweren“ Symptomen.

16.4.1. Verdacht auf Tauchunfall

Ein Verdacht liegt bei folgenden Voraussetzungen vor:

- Es wurde zuvor aus einem Tauchgerät unter Wasser geatmet (evtl. nur ein Atemzug)
- Es wurde zuvor aus einer Luftansammlung unter Wasser geatmet (z. B. Wrack oder Höhle)
- Es wurden zuvor (extreme) Apnoe-Tauchgänge (Freitauchen) durchgeführt

und es liegt eines oder mehrere der folgenden Symptome vor:

- **Milde DCI-Symptome:**
  - Starke Müdigkeit
  - Hautjucken („Taucherflöhe)
- **Schwere DCI-Symptome:**
  - Hauterscheinungen (z. B. „Marmorierung“)
  - Hautgefühlsstörungen
  - Kribbelparästhesien („Ameisenlaufen“)
  - körperliche Schwäche
  - Lähmungen
  - Schmerzen (jede Art)
  - Atembeschwerden
  - Seh-, Hör-, Sprachstörungen
  - Schwindel
  - Übelkeit
  - eingeschränktes Bewusstsein
  - Bewusstlosigkeit

16.4.2. Sofortmaßnahmen bei einem Tauchunfall:

- **Hilfeleistung im Wasser**:
  - Ruhe bewahren
  - Betroffenen durch Körperkontakt beruhigen
  - Atemgasversorgung für beide Taucher sicherstellen
  - Langsam zur Wasseroberfläche aufsteigen
  - Auftrieb und Atemluftversorgung sicherstellen (an der Oberfläche evtl. mit Schnorchel), da sonst die Gefahr des Wassereintritts in die Atemwege und des Beinahe-Ertrinkens besteht

- **Rettung des Tauchers aus dem Wasser**

- **Sofortmaßnahmen bei <u>milden</u> DCI-Symptomen:**
  - Flachlagerung
  - Normobaren Sauerstoff (mit Umgebungsdruck 1 bar): bei Konstantdosierung kontinuierlich über Maske mindestens 15 l pro min (oder Demand-System = Atemregler)
  - Flüssigkeitsersatz: 1 Liter Wasser schluckweise in der ersten Stunde (nur bei bewusstseinsklaren Tauchern, **keine** alkohol- oder koffeinhaltigen Getränke)
  - Bei Unterkühlung weiteren Wärmeverlust verhindern (z. B. mit Rettungsdecke)
  - Dokumentation: Tauchgangsdaten, Symptomverlauf und bisherige Maßnahmen
  - **Keine sog. „nasse Rekompression“** (neuerliches, „therapeutisches“ Abtauchen)

*Falls **Symptome nach 30 min Sauerstoffatmung vollständig abgeklungen*** sind:
24 Stunden stationäre Beobachtung

*Falls **Symptome nach 30 min Sauerstoffatmung anhalten**:*
Vorgehen wie bei schweren Symptomen

- **Sofortmaßnahmen bei <u>schweren</u> DCI-Symptomen:**
  - Flachlagerung (bei Bewusstlosigkeit stabile Seitenlagerung, sonst Rückenlagerung)
  - Falls erforderlich: Herz-Lungen-Wiederbelebung (HLW)
  - Normobaren Sauerstoff kontinuierlich über Maske mindestens 15 l pro min bei Konstantdosierung oder Demand-System
  - Rettungsdienst verständigen
  - Schnellstmögliche Kontaktaufnahme mit Taucherarzt, um Vorgehen zu koordinieren, z. B.:
    - Klinische Abteilung für Thorax- und Hyperbare Chirurgie an der Univ.-Klinik für Chirurgie Graz: *0316 385 2803*, Kennwort „Tauchunfall“
    - Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin an der Medizinischen Universität Wien: *01 40400 1001*, Kennwort „Tauchunfall“

- Nationale Divers Alert Network-Hotline für Deutschland und Österreich: *+49 431 54090*, Kennwort „Tauchunfall“
- Internationale Divers Alert Network-Hotline: *+39 039 6057858*, Kennwort „Tauchunfall“

– **Dokumentation:** Tauchgangsdaten, Symptomverlauf und bisherige Maßnahmen

– **Keine nasse Rekompression** (neuerliches, „therapeutisches“ Abtauchen)

– Gerätesicherstellung: Alle Geräte, die zur Rekonstruktion des Unfall-Tauchgangs beitragen können (zum Beispiel Dekompressions-Computer, Tiefenmesser), sollten dem Taucher mitgegeben werden.

– Rascher, ärztlich begleiteter Transport zur nächsten Notfalleinrichtung und rascher Weitertransport zu einer Therapiedruckkammer.

– Wenn die Transportstrecke kurz ist: Bodengebundener Transport des verunfallten Tauchers, ansonsten mit Helikopter oder mit Flugzeug

– **ACHTUNG:** Zustand der/des Tauchpartner(s) beachten

- **Im Zweifelsfall immer Sauerstoffgabe und Verständigung des Rettungsdienstes!**

Die rasche Verabreichung von **reinem Sauerstoff** kann dazu führen, dass sich die Symptome vollständig zurückbilden. Eine ärztliche Untersuchung, Beobachtung und evtl. weitere Behandlung ist trotzdem immer erforderlich! Je rascher die Sauerstoffgabe einsetzt, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Dekompressionsunfall ohne Langzeitfolgen bleibt.

Dekompressionsunfälle können am sichersten vermieden werden, wenn man die Sicherheitsempfehlungen beachtet und den Aufstieg „blasenarm“ gestaltet.

16.5 Beinahe-Ertrinken

Vom „Beinahe-Ertrinken“ spricht man, wenn ein Ertrinkungsvorgang mit Sauerstoffmangel (auch kurzfristig) überlebt wird. „Ertrinken“ ist als Tod nach Untertauchen in Flüssigkeiten definiert. Weltweit ertrinken nach Schätzungen der Weltgesundheitsorganisation jährlich mehr als 500.000 Menschen. Beim Tauchen mit und ohne Gerät besteht ein relativ hohes Risiko für ein Beinahe-Ertrinken. Bei etwa 75% aller tödlichen Unfälle beim Gerätetauchen scheint als Todesursache „Ertrinken" auf.

16.5.1 Ablauf eines Ertrinkungsvorgangs

Der Ertrinkungsvorgang selbst läuft nach einem Schema ab: Zunächst kommt es zu einer maximalen Einatmung, entweder durch den Schreck bei plötzlichem Eintauchen ins Wasser oder im Kampf gegen das „Untergehen“, wenn zum Beispiel ein Taucher in Panik hektisch an

der Wasseroberfläche gegen sein Absinken ankämpft. Nach dem Untertauchen des Kopfes wird bewusst der Atem angehalten. Diese Phase dauert unterschiedlich lange, in der Regel jedoch nicht länger als eine Minute. Danach treten zwanghafte Atembewegungen auf. Hierbei kommt es meist zum Eintritt von relativ wenig Flüssigkeit in die Atemwege. Erheblich mehr wird geschluckt; im Magen können ohne weiteres zwei Liter Wasser aufgenommen werden.

Nach ungefähr 2 Minuten tritt ein Krampfstadium ein, welches durch heftige Bewegungen des Zwerchfells gekennzeichnet ist. Luft, eiweißreiches Bronchialsekret und eingedrungene Flüssigkeit werden dadurch vermischt und „geschlagen", so dass ein eiweißhaltiger, zäher, weißer Schaum entsteht, der so genannte "Schaumpilz", der typisch für den Ertrinkungsvorgang ist. Nach einigen unzureichenden Atemaktionen, bei denen weitere Flüssigkeit in die Atemwege eindringt, kommt es zum Atemstillstand und zum Ertrinkungstod. Die Lungen sind meistens nicht mit Wasser, sondern mit Gas prall gefüllt, was im Bereich der Lungenbläschen zu einer massiven Überblähung führt.

16.5.2 Unterscheidung Ertrinken – Beinahe-Ertrinken

Eine solche Unterscheidung hat für den Ersthelfer keinerlei Bedeutung, weil sich die Situation für ihn unklar darstellt. Viele Beinahe-Ertrunkene sind tief bewusstlos.

16.5.3 Unterscheidung Beinahe-Ertrinken im Süß- und Salzwasser

Die Art des Wassers hat für die Erste Hilfe bei Beinahe-Ertrinken keine Bedeutung, weil in der Regel nur wenig Wasser in die Lungen gerät. Die meisten Opfer, die überleben, hatten nicht mehr als 300 ml Wasser in ihren Lungen.

16.5.4 Hauptproblem = Sauerstoffmangel

Nach einem Beinahe-Ertrinken ist die Hauptursache für alle folgenden Organausfälle der Sauerstoffmangel. Eine plötzliche Verschlechterung anfänglich stabiler Verunfallter ist jederzeit möglich. Beinahe-Ertrinken ist häufig ein intensivmedizinisches Problem, weil die Atmungsfunktion der Lungen sowohl sofort als auch wenige Tage später erheblich beeinträchtigt werden kann. Nach einigen Tagen kann sich eine massive Lungenentzündung entwickeln, die eine hohe Sterblichkeitsrate aufweist.

16.5.5 Sofortmaßnahmen bei Beinahe-Ertrinken

Es versteht sich von selbst, dass die Chancen für eine erfolgreiche Behandlung des Beinahe-Ertrinkens umso größer sind, je eher der Ertrinkungsvorgang durch Rettung des Betroffenen aus dem Wasser unterbrochen wird.

Der Helfer muss in jedem Fall sofort mit der Wiederbelebung beginnen (siehe 16.11). Da durch eine begleitende Unterkühlung ein gewisser Schutz vor dem Sauerstoffmangel möglich ist, kann auch keine Zeit genannt werden, nachdem eine Wiederbelebung sicher nicht mehr möglich ist. Selbstverständlich gilt dies nur für akute Situationen und nicht für Bergungen von Opfern nach vielen Stunden oder gar Tagen.

16.6. Inertgasnarkose („Tiefenrausch“):

Wir wissen heute, dass der zunehmende Partialdruck der Inertgasanteile im Atemgas (bei Luft- und Nitroxatmung der Stickstoff) einen narkoseähnlichen Zustand verursacht. Da die sichtbaren Auswirkungen denen eines durch Alkohol bedingten Rausches gleichen können, wurde der Zustand auch als „Tiefenrausch“ bezeichnet. Diese Erscheinungen treten druckabhängig auf und sind in der Regel ab einer Tauchtiefe von 30 m zu erwarten. Ab 40 m sind sie praktisch bei jedem Taucher nachweisbar. Deshalb wird die Tauchtiefe für Sporttaucher allgemein auf 40 m begrenzt.

Begünstigende Faktoren für eine Inertgasnarkose sind: Stress, Angst, Unerfahrenheit, Erschöpfung, Kälte, Dunkelheit, schlechte Sicht, Schlafmangel, (Rest-)Alkohol, Medikamente, Drogen und CO_2-Erhöhung durch erhöhten Atemwiderstand oder oberflächliche Atmung.

- **Objektive Symptome einer Inertgasnarkose:** Eingeschränkte Urteilsfähigkeit, abnehmendes Interesse für Sicherheit bzw. die gestellte Aufgabe, stumpfsinnige Handlungen, Verwirrtheit, unpassendes Lachen.
- **Subjektive Symptome einer Inertgasnarkose:** Euphorie, metallischer Geschmack, Gesichtsfeldeinschränkungen („Tunnelblick“), Konzentrationsprobleme, Taubheitsgefühl (Lippen, Zahnfleisch, Beine).
- **Prophylaxe von und Maßnahmen bei einer Inertgasnarkose:** Kontrolle der/des Partner(s), rechtzeitiges Aufsteigen, bei Symptomen kontrollierter Aufstieg bis zum tiefen Stopp, dann reguläres Austauchen. An der Oberfläche sind bis auf eine evtl. Erinnerungslücke keine Symptome mehr nachweisbar, deshalb besteht kein weiterer Handlungsbedarf. Von weiteren Tauchgängen an diesem Tag ist abzuraten.

16.7. Sauerstoffvergiftung

Unter atmosphärischen Bedingungen erfolgt der Sauerstofftransport im Blut hauptsächlich chemisch an die roten Blutkörperchen gebunden und nur zu einem geringen Teil physikalisch im Plasma gelöst. Wird mit Atemgeräten getaucht, ist der chemisch gebundene O_2-Anteil praktisch nicht mehr zu erhöhen, es nimmt nur der physikalisch gelöste Sauerstoff zu.

Entsprechend der Tauchtiefe nimmt der O_2-Partialdruck (pO_2) zu, bis er bei einem Grenzwert von 1,6 bar für den Menschen giftig zu werden beginnt. Bei Verwendung von Pressluft ist dieser Teildruck in ca. 66 m Tiefe erreicht und stellt deshalb kaum eine Gefahr für Sporttaucher dar, deren Tiefengrenze bei max. 40 m – besser bei 30 m – liegen sollte.

Wird jedoch der Sauerstoffanteil im Atemgasgemisch über 21 % erhöht, wie es beim Tauchen mit „Nitrox“ der Fall ist, wird die Grenze der Giftigkeit in Abhängigkeit von den Volumsprozenten wesentlich früher erreicht. Bei einem Gemisch aus 50 % Sauerstoff und 50 % Stickstoff beträgt der pO_2 bereits in 22 m Tiefe 1,6 bar.
(Sauerstoffdruck = Umgebungsdruck x Sauerstoffanteil = 3,2 bar x 0,5 = 1,6 bar).

Obwohl beim Atmen solcher Gasgemische pro Zeiteinheit weniger Stickstoff aufgenommen wird als beim Atmen von Pressluft (und sich daher die Dekozeiten verkürzen), ist der Nachteil die Gefahr einer Sauerstoffvergiftung. Es müssen somit beide Gase bei der Planung und bei der Durchführung von Tauchgängen berücksichtigt werden.

Der Grenzwert von 1,6 bar ist jedoch nicht als absolut zu betrachten, da verschiedene Einflüsse bereits bei geringeren Drucken zu Symptomen einer Sauerstoffvergiftung beitragen

können. Die meisten Ausbildungsorganisationen erachten daher einen Grenzwert von 1,5 bar pO_2 oder geringer als angemessen.

Symptome der O_2-Vergiftung betreffen zwei Organsysteme: Kurze Einwirkungen bei hohem Druck hauptsächlich das „Zentrale Nervensystem“ (ZNS = Hirn und Rückenmark), längere Einwirkzeiten bei niedrigeren Drucken (>0,5 bar) hauptsächlich Atemwege und Lunge.

Hier soll nur auf die **Symptome** eingegangen werden, die unter einem Druck von ≥1,5 bar zu erwarten sind: Krampfanfälle mit Bewusstseinsverlust, Euphorie, Übelkeit, Zuckungen und Krämpfe einzelner Muskeln, gesteigertes Angstgefühl, Benommenheit, Schwindel, unvernünftiges Verhalten, eingeschränktes Gesichtsfeld („Tunnelblick“), Ohrgeräusche.

16.7.1. Prophylaxe und Maßnahmen bei einer Sauerstoffvergiftung:

Kontrolle der Tauchtiefe und Tauchzeit sowie der/des Partner(s), rechtzeitiger Aufstieg – bei Symptomen kontrollierter Aufstieg bis die Symptome verschwinden, dann reguläres Austauchen.

Krampfanfälle unter Wasser mit Bewusstseinsverlust sind die schwerste Form und führen meist zum Verlust des Mundstückes und in weiterer Folge zum Ertrinken. Nach der Rettung an ein Ufer bzw. in ein Boot sind die lebensrettenden Sofortmaßnahmen einzuleiten. Die weitere Versorgung entspricht der eines „Dekompressionsunfalls“ (siehe 16.3.2).

Eine fundierte Ausbildung und die korrekte Anwendung künstlicher Atemgasgemische ist zur Vermeidung von Unfällen unerlässlich.

16.8. Wärme- und Kälteexposition

Die Körpertemperatur des Menschen wird durch Anpassung der Wärmebildung und –abgabe zwischen 36,4 °C und 37,4 °C konstant gehalten. Sind die Regelmechanismen unzureichend, resultieren daraus entweder ein Wärmestau und in weiterer Folge ein Hitzschlag oder eine Unterkühlung.

16.8.1. Überhitzung:

Sind die Gegenregulationen (Schweißbildung, Erweiterung der Blutgefäße im Unterhautfettgewebe, Wärmeabgabe durch Wärmeleitung und Wärmestrahlung) nicht dazu in der Lage, einem Anstieg der Körpertemperatur entgegen zu wirken, droht ein Wärmestau, der zum Hitzschlag führt. Symptome sind: Rote, trockene Haut, rascher Puls, Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit und Erbrechen, evtl. Krämpfe, Bewusstlosigkeit. Der Vorbeugung dienen ausreichende Flüssigkeitszufuhr, Vermeiden von längerer Sonnenexposition – speziell mit angelegtem Tauchanzug – und wiederholte Kühlung (z. B. durch Duschen).

- **Sofortmaßnahmen bei Hitzschlag:** Wärmeexposition beenden (Betroffenen in den Schatten bringen, Kleidungsstücke öffnen oder ablegen, Kühlung mit kalten Kompressen, bei Bewusstlosigkeit stabile Seitenlage, Kontrolle von Atmung und Kreislauf, Alarmierung des Rettungsdienstes.

16.8.2. Unterkühlung:

Zum Unterschied von Erfrierungen, bei denen einzelne, periphere Körperteile (z. B. Zehen, Finger, Nase) gefährdet sind, betrifft eine Unterkühlung den gesamten Körper und kann lebensbedrohlich werden. Sinkt die Körpertemperatur unter die Norm, setzen Gegenregulationen ein, die darauf abzielen, die Temperatur des „Körperkerns“ (Organe in der Schädel-, Brust- und Bauchhöhle) über einen längeren Zeitraum möglichst hoch zu halten. Die „Körperschale“ (Muskulatur des Rumpfes und Extremitäten) wird dadurch vermindert durchblutet. Kältezittern ist das erste Zeichen, das von einer raschen Atmung und Erhöhung der Pulsfrequenz begleitet wird. Durch Muskelaktivität wird Wärme hauptsächlich in der Körperschale erzeugt, die jedoch nur zum Teil der Temperaturerhaltung des Kerns dient, da der Großteil der dadurch erzeugten Wärme an die Umgebung abgegeben wird. Die Zuckerreserven des Körpers werden beim Zittern rasch aufgebraucht. Wird die Kälteexposition nicht unterbrochen, nehmen Muskeltätigkeit, Atem- und Pulsfrequenz ab, es folgen Muskelstarre Schläfrigkeit und Bewusstseinseintrübung. Bei weiterer Kälteeinwirkung sind tiefe Bewusstlosigkeit, Atempausen und Herzrhythmusstörungen zu erwarten. Die letzte Phase ist von Atem- und Kreislaufstillstand gekennzeichnet, die zum Tod führen.

Da die Auskühlung im Wasser etwa 4 x rascher erfolgt, als in Luft gleicher Temperatur, muss darauf geachtet werden, dass das Wasser spätestens beim Auftreten von Kältezittern verlassen wird. Tauchgänge im kalten Wasser müssen entsprechend geplant werden.

Sofortmaßnahmen bei Unterkühlung:

- ***Leichte Form:*** *Kältezittern, Betroffener* ***ansprechbar:*** Beendigung der Kälteexposition, Wärmezufuhr (warme, gezuckerte Getränke – kein Alkohol!, warme, trockene Bekleidung)
- ***Schwere Form:*** *Opfer nicht erweckbar bzw.* ***bewusstlos:*** Unnötige Bewegungen (z. B. Umlagern) und weitere Auskühlung vermeiden (Decken, Rettungsdecke, Plastikfolie) Überwachung von Atmung und Kreislauf, Sauerstoffgabe, Alarmierung des Rettungsdienstes.

16.9. Schock:

Ein Schock ist ein lebensbedrohlicher Zustand, in dem die Organe nicht mehr ausreichend durchblutet und dadurch mit Sauerstoff unterversorgt werden. Durch eine Umverteilung des Blutes versucht der Körper die lebensnotwendigen Organe vorrangig mit Blut zu versorgen. Ursache für einen Schock können u. a. sein: Starker Blut- oder Flüssigkeitsverlust, Herzversagen, allergische Reaktionen, Gifteinwirkungen, zu niedriger Blutzuckergehalt.

- **Symptome eines Schocks:** Schwacher, stark beschleunigter Puls, blasse Haut, kalter Schweiß, Blutdruckabfall, Bewusstseinseintrübung.
- **Sofortmaßnahmen bei Schock**: Abhängig von der Ursache muss der Betroffene richtig gelagert werden (z. B. bei Herz- oder Atemproblemen Oberkörper erhöht, bei Blutverlust flach), evtl. Blutstillung, Sauerstoffgabe, vor Auskühlung schützen, beruhigender Zuspruch, Alarmierung des Rettungsdienstes.

16.10. Praktisches Unfallmanagement am Tauchplatz:

Es ist wichtig, dass alle am Tauchbetrieb Beteiligten wissen, was in einem Notfall zu tun ist. Wo ist der Notfallkoffer? Wo befindet sich der Sauerstoffkoffer? Wo ist das nächste Telefon bzw. die nächste Kommunikationseinrichtung (z. B. Funkgerät)? Die Notrufnummer der Rettungsdienste in Österreich ist *144*. Nach Bekanntgabe der Unfall- bzw. Verletzungsart wird von der Leitstelle das best geeignete Rettungsmittel zum Ort des Geschehens entsandt. Für Tauchgruppen empfiehlt sich das rechtzeitige Festlegen eines Notfallplans und Wiederholen der Sicherheitsmaßnahmen vor Beginn der Freiwassertauchgänge. Ein erweitertes Management (Bereitstellung von Sanitäter und/oder Arzt) scheint nur bei großen Tauchveranstaltungen praktikabel.

16.11. Lebensrettende Sofortmaßnahmen

Sie sollten von jedem Taucher beherrscht und in regelmäßigen Abständen geübt werden. Bevor Maßnahmen getroffen werden können, muss eine „Notfalldiagnose“ gestellt werden.

Bewusstsein, Atmung und Kreislauffunktion müssen überprüft werden. Die Erste Hilfe richtet sich nach dem bekannten „**ABC-Schema**“ (**A**temwege freilegen, **B**eatmung, **C**irculation).

16.11.1. Bewusstseinskontrolle:

Durch **Ansprechen, Berühren** oder **Setzen eines nicht schädlichen Schmerzreizes** („Zwicken“ am Handrücken) wird das Bewusstsein überprüft. Reagiert der Betroffene nicht entsprechend, lautet die **Notfalldiagnose: „Bewusstlosigkeit“**. Ist die **Eigenatmung ausreichend**, wird er in die **stabile Seitenlage** gebracht und der Hals überstreckt, um ein Ersticken durch Zurücksinken der Zunge an die Rachenwand oder durch Erbrochenes zu verhindern. Atmung und Kreislauf müssen kontrolliert werden.

16.11.2. Atmungskontrolle:

Sind **keine Atembewegungen** des Brustkorbes und **keine Atemgeräusche** wahrnehmbar oder zeigt der Betroffene nur eine unzureichende „Schnappatmung“, lautet die **Notfalldiagnose „Atemstillstand“.**

16.11.3. Atemwege freilegen:

Ist das Opfer bewusstlos und weist es keine ausreichende Eigenatmung auf, erfolgt das Freilegen der Atemwege: Der Hals wird vorsichtig nackenwärts gestreckt, der Unterkiefer angehoben, um einen Verschluss der Atemwege durch das Zurücksinken der Zunge zu vermeiden. Sind in der Mundhöhle Fremdkörper (Gebissteile, Erbrochenes), müssen die Atemwege im einsehbaren Bereich (evtl. mit den Fingern) freigelegt werden.

16.11.4. Notfallbeatmung:

Sind nach dem Freilegen der Atemwege bei korrekt überstrecktem Hals keine Atemgeräusche hörbar und keine Bewegungen des Brustkorbes wahrnehmbar, muss mit der Beatmung begonnen werden.

Mund zu Mund- Beatmung: Zur Vermeidung einer Übertragung ansteckender Krankheiten und auch aus hygienischen Gründen empfiehlt sich eine **Mund- zu- Masken-Beatmung** mit einer einfachen Beatmungsmaske aus Silikon, die Bestandteil jedes Notfallkoffers sein sollte.

Ist eine solche nicht vorhanden, kommt die **Mund- zu- Mund- Beatmung** zur Anwendung: Der Hals muss überstreckt bleiben. Eine Hand liegt auf der Stirn, mit Daumen und Zeigefinger wird die Nase des Opfers verschlossen. Die andere Hand zieht den Unterkiefer nach vorne, damit der Mund leicht geöffnet wird. Der Helfer atmet tief ein und umschließt mit seinem geöffneten Mund entweder den Einlassstutzen der Beatmungsmaske oder den Mund des Opfers und bläst seine Atemluft ein, während er beobachtet, ob sich dabei der Brustkorb des Opfers hebt und nach dem Atemstoß auch wieder senkt. Sobald sich der Brustkorb gesenkt hat, beatmet der Helfer ein zweites Mal.

Eine weitere Möglichkeit ist die **Mund-zu-Nase-Beatmung:** Dabei fixiert eine Hand die Stirn des Opfers, damit der Hals überstreckt bleibt. Die andere fixiert den Unterkiefer des Opfers unter leichtem Zug nach vorne, verschließt aber gleichzeitig den Mund, indem die Lippen aneinander gepresst werden. Die Beatmung erfolgt durch die Nase, dabei ist auf ein dichtes Abschließen des eigenen Mundes zu achten.

Hebt sich der Brustkorb des Opfers während der Beatmung nicht, war diese nicht erfolgreich. Die Atemwege müssen erneut kontrolliert und der Hals korrekt überstreckt werden, danach sollte ein Beatmen möglich sein. Ist das nicht der Fall, müssen die Atemwege in tieferen Abschnitten verlegt sein, die einem Laienhelfer nicht zugänglich sind.

16.11.5. Circulation (Kreislauf)

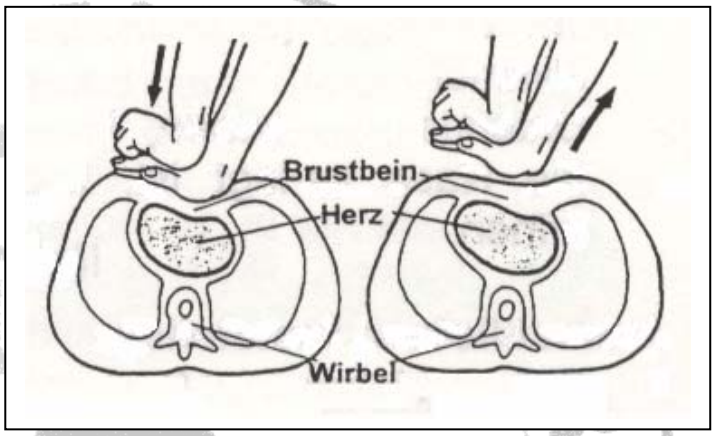
Werden nach 2 Notfallsbeatmungen keine offensichtlichen Lebenszeichen (wie z. B. spontane Bewegungen, Atemgeräusche und/oder -bewegungen, Husten, Ächzen, Stöhnen) wahrgenommen, lautet die **Notfalldiagnose „Kreislaufstillstand**“. Diese erfordert eine sofortige **Herz –Lungen –Wiederbelebung** (HLW).

Laienhelfern wird nach neuen Erkenntnissen das Fühlen des Pulses an der Halsschlagader nicht mehr gelehrt, da Ungeübte Schwierigkeiten bei der Beurteilung des Pulses haben können, was die erforderlichen Erste Hilfe Maßnahmen nur sinnlos verzögern würde. Sind keine offensichtlichen Lebenszeichen (s. o.) nachweisbar, wird die Notfalldiagnose „Kreis-

laufstillstand“ gestellt und es muss unverzüglich mit der „**äußeren Herzkompression**“ (= Herzdruckmassage) begonnen werden.

Das Opfer liegt auf dem Rücken auf einer harten Unterlage. Die Länge des Brustbeines wird zwischen dessen oberer Begrenzung und dem Punkt, an dem die Rippenbögen zusammen kommen, halbiert und der Ballen der einen Hand auf die untere Brustbeinhälfte aufgesetzt. Der Ballen der zweiten Hand wird auf die untere Hand aufgelegt und mit gestreckten Armen ein senkrechter Druck auf das Brustbein ausgeübt. Um den Druck korrekt auf das Brustbein und nicht auf benachbarte Rippen zu leiten, dürfen die Finger den Brustkorb nicht berühren, sie müssen von diesem abgehoben werden. Viele Helfer bevorzugen ein „Verschränken“ der Finger beider Hände während der Herzkompression.

Beim Erwachsenen muss das Brustbein bei jeder Kompression ca. 4-5 cm in Richtung Wirbelsäule gedrückt und anschließend wieder vollständig entlastet werden, ohne dass der Kontakt des Handballens zum Brustbein verloren wird.



Herzdruckmassage

Druck- und Entlastungsphase sollten gleich lang dauern und müssen pro Minute 60 – 80 mal rhythmisch durchgeführt werden. Da nach je 15 Herzkompressionen 2 Beatmungen erfolgen, während denen keine Herzkompression durchgeführt wird, muss die tatsächliche Kompressionsfrequenz bei ca. 100/min liegen. Sonst wäre die Anzahl der Herzkompressionen für eine wirksame HLW unzureichend.

Hilfreich ist es, wenn man bei der Herzdruckmassage laut mitzählt. Man kann dadurch sein eigenes Handeln und die Geschwindigkeit der Kompressionen besser überprüfen.

16.11.6. Wiederbelebungsrhythmus:

Auf 2 Notfallsbeatmungen folgen 15 Herzdruckmassagen. Ein 1 : 5-Rhythmus wird nur mehr bei Kindern empfohlen. Einmal pro Minute wird die Wiederbelebung kurz unterbrochen um auf Lebenszeichen zu achten.

16.11.7. Verständigung des Rettungsdienstes:

Da bei den meisten Erwachsenen als Ursache für den Kreislaufstillstand ein Kammerflimmern vorliegt und die Überlebenschancen ohne Defibrillator rasch abnehmen, sollte bei einem „beobachteten“ Kreislaufversagen zuerst der Rettungsdienst verständigt und erst dann mit der HLW begonnen werden. Bei Kindern, Beinahe-Ertrinken, Vergiftungen und Unfällen stehen Atmungsprobleme im Vordergrund. Deshalb müssen bei diesen Personengruppen die lebensrettenden Sofortmaßnahmen unverzüglich begonnen werden.

Als wichtigste Maßnahme ist die sofortige Beatmung für etwa 1 Minute zu nennen, erst dann muss der Rettungsdienst verständigt werden.

16.11.8. Koordination:

Notfallbeatmung und Herzdruckmassage sind anstrengend und können auch von 2 Helfern abwechselnd ausgeführt werden. Die Wiederbelebungsmaßnahmen müssen fortgesetzt werden, bis die Atmung einsetzt oder der Rettungsdienst das Opfer übernimmt. Wenn die Atmung wieder einsetzen sollte, sind die meisten Opfer weiter bewusstlos und müssen daher in die „stabile Seitenlage“ (s. o.) gebracht werden. In jedem Fall muss der Betroffene weiter beobachtet werden, Atmung und Kreislauf müssen kontrolliert werden.

16.11.9. Erste Hilfe Kurs:

Eine Ausbildung in Erster Hilfe ist für jeden Taucher sinnvoll. Die Wiederbelebungsmaßnahmen müssen im Rahmen eines Kurses an einer Wiederbelebungspuppe unter möglichst realistischen Bedingungen erlernt und geübt werden. Auch die Verständigung des Rettungsdienstes sollte geübt werden, da in Ernstfällen oft wichtige Informationen (z. B. Anfahrtsmöglichkeit zum Unfallort, Rückrufnummer usw.) nicht weiter gegeben werden.

16.12. Fragen & Antworten:

1. Darf ich tauchen, wenn ich seekrank war?

Nach heftigem Erbrechen kann der Flüssigkeitsverlust die Entstehung einer DCS begünstigen. Das Tauchen ist erst nach Ausgleich des Flüssigkeitsdefizits bei allgemeinem Wohlbefinden zu empfehlen. Ein alleiniges Verlängern der Sicherheitsstopps ist keine Garantie für die Vermeidung einer DCS!

2. Darf ich tauchen, wenn mich die „Rache des Pharao“ (Durchfall) erwischt hat?

Abgesehen von der Tatsache, dass man in der akuten Krankheitsphase kaum Lust zum Tauchen verspüren wird, steht auch hier der Flüssigkeitsverlust im Mittelpunkt. (siehe unter 1). Der Flüssigkeitsverlust erfordert die Verlängerung der Sicherheitsstopps. Trinken!

3. Mein Buddy und ich sind nach einem kurzen, tiefen Tauchgang mit 100 bar an der Oberfläche angekommen, während die anderen beiden Tauchpartner ihre Pressluft bis auf die vorgesehene Reserve verbraucht haben. Können wir mit der Restluft gleich noch einen kurzen Tauchgang machen?

Tiefe Tauchgänge und kurze Oberflächenpausen sind für verstärkte Blasenbildung verantwortlich. Wird nach einem kurzen Oberflächenintervall wieder getaucht, können Mikrobläschen, die sich im Kapillarfilter der Lunge befinden, komprimiert und in den arteriellen Kreislaufschenkel geschwemmt werden. Beim neuerlichen Auftauchen können durch die Zunahme ihrer Größe Symptome eines Tauchunfalls verursachet werden. Eine Oberflächenpause von 2 Stunden ist zwischen Tauchgängen zu empfehlen. Ein tiefer Sicherheitsstopp ist nach tiefen Tauchgängen besonders wichtig. Weitere „Level Stopps“ werden zur wirksamen Verminderung der Aufstiegsgeschwindigkeit empfohlen.

4. Mein Tauchpartner lässt mich nicht aufsteigen! Ich habe meinen ersten 30 m Tauchgang durchgeführt und musste trotz Einhalten der Nullzeit beim Aufstieg 5 min in 15 m Tiefe warten, obwohl mir kalt war.

Bei Tauchgängen im Meer ist das Ende der Nullzeit nach 17 min in 30 m erreicht. Wenn der Tauchgang in 1000 m Seehöhe erfolgt ist, ist die Nullzeit schon nach 12 min zu Ende. Nach einem tiefen Tauchgang (hier 30 m) ist am Ende der Nullzeit ein 5 min-Stopp in 15 m Tiefe durchaus empfehlenswert. Dadurch werden große Mengen von Mikrobläschen vermieden. Alle Taucher sollten sich an diese Empfehlung halten.

5. Nach einem längeren Pressluft-Tauchgang bin ich sehr müde. Ist das bedenklich?

Starke Müdigkeit wird heute als „mildes“ Symptom eines Dekompressionsunfalls bewertet. Flachlagerung, Sauerstoffatmung für vorerst 30 min., Flüssigkeitsgabe und Kontaktaufnahme mit einem Taucherarzt oder DAN sind die wichtigsten Maßnahmen. Das weitere Vorgehen richtet sich danach, ob die Symptome nach 30 min Sauerstoffatmung völlig abgeklungen sind oder nicht.

Grundsätzlich sollte ein „blasenarmer“ Aufstieg nach den derzeit gültigen Regeln durchgeführt werden, um die Entstehung zahlreicher Mikrobläschen und das Auftreten von Symptomen einer DCI zu verhindern.

6. Nach einem Tauchgang möchte ich gern noch mit der ABC-Ausrüstung tauchen. Kann ich das problemlos tun?

Jede Art von körperlicher Anstrengung nach dem Tauchen begünstigt die Bildung von Mikrobläschen und soll daher unterlassen werden. Wird mit oder ohne Tauchgerät kurz nach einem Tauchgang wieder abgetaucht, können darüber hinaus Mikrobläschen, die sich im Lungenfilter befinden und abgeatmet werden sollten, komprimiert werden und in den arteriellen Schenkel des Kreislaufs gelangen (siehe 3.)

7. Mein Tauchpartner klagt nach einem langen und tiefen Tauchgang über ziehende Bauchschmerzen. Wir mussten im Freiwasser aufsteigen und haben nicht alle Sicherheits-Stopps eingehalten.

Für die Schmerzen kommen 2 tauchgangsbedingte Möglichkeiten in Betracht:

a) Hat er unter Wasser Luft geschluckt? Diese dehnt sich beim Auftauchen aus und kann, wenn sie nicht durch die Speiseröhre entweichen kann, zu einer Magendehnung mit Schmerzen führen. Gewöhnlich setzen diese Schmerzen bereits während des Aufstiegs ein und nehmen an Intensität zu.

b) Speziell bei nicht ganz schlanken Tauchern könnten diese „Bauchschmerzen" auf eine ungenügende Dekompression zurückgeführt werden. Typischerweise treten diese Symptome einer DCS erst einige Zeit nach dem Tauchgang auf, da das in Lösung befindliche Inertgas erst zeitverzögert Bläschen formiert, welche die Schmerzen verursachen. Es ist in beiden Fällen ein Tauchunfall anzunehmen und entsprechend den Empfehlungen vorzugehen.

8. Nach einem langen Tauchgang spüre ich zum 2. Mal einen dumpfen Schmerz in der rechten Schulter. Beim letzten Mal – vor 2 Jahren – sind die Schmerzen erst am nächsten Tag völlig verschwunden.

Ein dumpfer Schmerz im Bereich eines großen Gelenkes, der zeitverzögert nach einem Tauchgang auftritt, ist wahrscheinlich auf eine DCS zurückzuführen. Ist keine Verletzung erinnerlich, könnten eine Überbelastung oder eine Kälteeinwirkung ein ähnliches Erscheinungsbild verursachen. Sind weiter Symptome, wie z. B. Gefühlsstörungen der Haut oder eine Abschwächung der Muskelkraft nachweisbar, ist eine DCS wahrscheinlich. Ein Tauchunfall ist auch trotz Einhalten aller Sicherheitsregeln möglich! Die zu treffenden Maßnahmen entsprechen dem Vorgehen bei „schweren" Symptomen eines Dekompressionsunfalls.

9. Einer meiner Kollegen hat gesagt, dass er sich vor einer längeren Flugreise immer eine „blutverdünnende" Spritze in die Bauchdecke verabreicht. Muss ich das auch tun?

Durch langes Sitzen in relativ engen Sitzreihen eines Flugzeugs mit abgewinkelten Beinen wird das Auftreten einer Thrombose (= Blutgerinnselbildung) in den Beinvenen begünstigt. Weitere begünstigende Faktoren sind: Bewegungsmangel, die trockene Luft, geringe Flüssigkeitszufuhr, enge, den Blutfluss reduzierende Bekleidung, Grunderkrankungen.

In den letzten Jahren sind durch den zunehmenden Flugtourismus vermehrt Beinvenenthrombosen aufgetreten (sog. „Economy-Class-Syndrom"), die eine lebensgefährliche Lungenembolie nach sich ziehen können. Bei langen Flugreisen sollten daher zur Vorbeugung dieser Komplikationen wiederholt Muskelanspann- und Bewegungsübungen der Beine durchgeführt werden. „Zwischendurch" sollte man sich vom Sitzplatz erheben und gezielt Gehübungen (auch im Stand) durchführen und auf eine genügende Flüssigkeitszufuhr (Mineralwasser, Fruchtsäfte) achten.

Vorbeugend gegen eine Thrombose wird – besonders dann, wenn zusätzliche Risikofaktoren (>30 Jahre, Übergewicht, Raucher, „Pille") bestehen – die einmalige Gabe eines niedermolekularen Heparinpräparates in Form einer Injektion vor dem Flug empfohlen.

10. Beim letzten Tauchgang hat mein Partner sein neues Kameragehäuse in großer Tiefe ausprobiert. Nach kurzer Zeit hat er auf Handzeichen nicht mehr richtig reagiert und teilnahmslos gewirkt. Ich hatte Mühe, ihn zum Auftauchen zu bewegen. Als wir eine geringere Tiefe erreicht hatten, schien sein Verhalten wieder völlig normal zu sein.

Vermutlich haben die Kälte, Tarierprobleme (vermehrter Abtrieb durch das Kameragehäuse) und/oder vermehrte Atemarbeit einen Tiefenrausch bewirkt. Möglicherweise hat der Partner erste Symptome nicht richtig eingeschätzt und daher kein Zeichen zum Aufsteigen gegeben. Der Aufstieg in eine deutlich geringere Tiefe und das Verschwinden der Symptome bestätigen die richtige Reaktion.

11. Nach einigen Tauchgängen im Meer bekomme ich häufig Ohrenschmerzen. Kann ich etwas dagegen tun?

Zuerst sollte eine krankhafte Veränderung des betroffenen Ohres durch eine fachärztliche Untersuchung ausgeschlossen werden. Zur Vorbeugung von Entzündungen des äußeren Gehörganges eignen sich verschiedene „austrocknende" Ohrentropfen (z. B. Alkohol- oder Essiglösungen), die regelmäßig nach dem Tauchen angewendet werden sollten. Sie verhindern eine Vermehrung von Keimen, die im feuchten Milieu ideale Wachstumsbedingungen vorfinden und Entzündungen des äußeren Gehörganges verursachen können.

12. Gestern habe ich trotz einer beginnenden Verkühlung getaucht und den Druckausgleich erst mit forcierten Manövern erzwungen. Heute höre ich auf einem Ohr deutlich schlechter.

Wahrscheinlich liegt ein Barotrauma des Mittelohres, seltener des Innenohres vor. Eine fachärztliche Abklärung ist dringend erforderlich. Auf keinen Fall darf vorerst weiter getaucht werden.

13. Ich habe nach dem Tauchen oft Kopfschmerzen.

Für Kopfschmerzen, die beim Tauchen ausgelöst werden, gibt es mehrere Möglichkeiten:

Bei (beginnenden) Verkühlungen werden einzelne Nasennebenhöhlen (NNH) oft nicht ausreichend belüftet. Wird so getaucht, kann ein Barotrauma der NNH die Ursache sein. Die Lokalisation der Schmerzen kann weitere Aufschlüsse geben (z. B. Schmerzen im Stirnbereich oft bei Stirnhöhlenproblemen).

Wenn man beim Tauchen wiederholt die Atemfrequenz gering hält, um Luft zu sparen, oder nicht richtig ausatmet, steigt der CO_2-Anteil im Blut und kann Kopfschmerzen verursachen.

Wird der Kopf ungeschützt der Kälte ausgesetzt, können daraus ebenfalls Kopfschmerzen resultieren. Daher ist in unseren Seen immer, aber auch im Meer das Tragen einer Kopfhaube zu empfehlen.

Bestehen Probleme mit der Halswirbelsäule, kann auch die ungewohnte Haltung beim Tauchen (permanente Überstreckstellung durch die Schwimmlage bedingt) Schmerzen, die vor allem in den Hinterkopf ausstrahlen, verursachen.

Manchmal, besonders bei Fehlstellung der Zähne, kann auch das Festhalten eines schlecht passenden Automaten-Mundstückes über längere Zeit zu Schmerzen im Bereich der Kiefergelenke führen, die oft zur Schläfe hin ausstrahlen.

Kopfschmerzen können aber auch ein Symptom der schweren Form einer DCI sein.

Die Ursache ist durch möglichst genaue Analyse, wann und wo die Schmerzen auftreten, zu finden und oft erst durch eine ärztliche Untersuchung zu klären. Im Zweifelsfall ist das Vorgehen wie bei „Dekompressionsunfall“ angezeigt.

14. Ich bekomme beim Schwimmen immer einen Krampf in der Wade.

Die Ursachen können ein zu enger Tauchanzug, zu fest angezogene Riemen eines Tauchermessers, aber auch Durchblutungs- oder Elektrolytstörungen sein. Vielleicht bestand in den letzten Tagen Übelkeit, Erbrechen oder Durchfall? Vielleicht fehlt Magnesium?

15. Kann ich mit 40 bar Restdruck in einer 10-Liter-Flasche noch einmal absteigen, um einen verklemmten Anker zu lösen?

Grundsätzlich ist vom nochmaligen, kurzfristigen Abtauchen nach einem Tauchgang (mit und ohne Gerät) abzuraten, da kleinste Stickstoffbläschen, die sich in den Kapillaren der Lunge befinden, komprimiert und in den arteriellen Schenkel des Kreislaufs geschwemmt werden können. Beim Auftauchen können sie an Größe zunehmen und Symptome einer DCI auslösen. Grundsätzlich sollten sich Taucher mit wenig Erfahrung vor solchen Abenteuern hüten, denn wenn die Restluft bei anstrengender körperlicher Aktivität rasch verbraucht wird und dann zwangsweise ein Aufstieg ohne Stopps folgt, wird ein Tauchunfall förmlich provoziert.

Taucher, die mit solchen Problemen schon Erfahrung haben, sollten das Vorgehen bestimmen. Ist ein Lösen des Ankers durch Bootsmanöver nicht möglich, sollte entweder die Ankerleine gekappt oder erst nach einer entsprechenden Oberflächenpause erneut abgetaucht werden.

16. Darf ich mit B* auch tiefer als 10 m tauchen?

Mit geeigneter Ausrüstung (wichtig: Computer, Finimeter) und in Begleitung eines Gruppenführers oder Tauchlehrers sind Tauchgänge bis 30 m erlaubt.

17. Wie kann ich eine Aufstiegsgeschwindigkeit von 5 m/min einhalten?

Für die Praxis: Ein Aufstieg an einem Ankerseil „Hand über Hand“ ist fast doppelt so schnell. Will man 5m/min einhalten, darf man nicht ganz 10 cm pro Sekunde steigen. Das ist extrem langsam und tatsächlich nur am Ankerseil oder am Grund entlang – unter Beobachtung des Computerdisplays – möglich.

17. Schnorcheltauchen im Schwimmbad:

Schnorcheltauchen soll nicht im „Do It Yourself"-Verfahren erlernt werden, weil von der richtigen Handhabung der ABC-Ausrüstung die Sicherheit eines Tauchers abhängen kann. Gesundheitliche Schäden können die Folge eines erzwungenen Druckausgleichs oder einer Hyperventilation (Überatmung) vor dem Abtauchen sein, wenn das erforderliche theoretische Wissen um diese Gefahren fehlt. Nur eine gründliche Ausbildung und das strikte Einhalten von Sicherheitsempfehlungen können gesundheitlichen Störungen vorbeugen.

Sicherheit hat Vorrang.

Rücksichtsvolles Verhalten im Wasser. Die Umgebung **beobachten!** Es sind auch andere Schwimmer und Taucher im Wasser!

- Vor dem Tief- und Streckentauchen warten, bis sich die Atmung beruhigt hat, dann 3 oder 4 mal durchatmen, tief einatmen und mit voller Lunge abtauchen. Der Druckausgleich muss rechtzeitig durchgeführt werden.
- Bei jedem Aufstieg zur Wasseroberfläche, vor allem aber beim Tauchen ohne Maske oder bei Sichtbehinderung soll der **gestreckte Arm** über den Kopf gehalten werden, um einen Anprall des Kopfes gegen ein Hindernisse zu vermeiden und um an der Oberfläche besser gesehen zu werden.

Bevorzugte Übungen zur Gewöhnung ans Wasser sind „Streckenschwimmen mit Zeitbegrenzung" und „Tauchen ohne Maske" oder „Zeittauchen".

Je nach persönlichen Fähigkeiten wird Schwimmen, Streckentauchen und Geschicklichkeitstauchen auf 3 verschiedenen Leistungsebenen (A, B und C) geübt.

17.1. Einstieg ins Wasser:

Etwas Wasser im Fußteil der Flossen erleichtert das Hineinschlüpfen.

- Mit angelegten Flossen nur **rückwärts gehen**.
- Trockene Maskenscheibe innenseitig mit Speichel benetzen, dann die Maske kurz ausspülen. Der Speichelfilm auf der Scheibe muss erhalten bleiben. Gesicht etwas befeuchten, Maske aufsetzen, darauf achten, dass sich keine Haare in der Maske befinden, Schnorchel am Maskenband fixieren, das Mundstück mit den Zähnen festhalten.
- Schnorchel und Maske mit einer Hand sichern, schauen, ob der Einstieg ins Wasser gefahrlos möglich ist. Einen Schritt seitlich oder rückwärts gemacht – und schon ist man im Wasser.
- Auftauchen (Blick nach oben!), Schnorchel ausblasen, wenn nötig Maske korrigieren und am Beckenrand warten.

Die Maske soll aufgesetzt und der Schnorchel im Mund bleiben, damit man sich an die Schnorchelatmung gewöhnt. Immer Blickkontakt mit dem Tauchlehrer halten.

17.2. Flossenschwimmen:

Schnorcheln mit „ABC-Ausrüstung“ Maske, Schnorchel & Flossen

Foto 17:

Mit gestreckten Armen und einem „Schwimmbrett“ in den Händen kann man sich am Anfang ganz auf den Beinschlag konzentrieren. Die Flossen werden zügig auf und ab bewegt. Die Bewegung soll dabei „aus der Hüfte“ kommen. Die Kniegelenke sollten möglichst wenig abgewinkelt werden, um einen Kraft sparenden Vortrieb zu erreichen. Sog. „Rad fahren“, also Bewegungsabläufe, die hauptsächlich in den Kniegelenken erfolgen, müssen ebenso vermieden werden, wie Bewegungen, bei denen die Flossen über die Wasserlinie geführt werden.

Wenn die Flossen auf das Wasser „klatschen“ oder die Schwingungsweite der Flossenschläge zu klein ist, braucht der Schwimmer zwar viel Kraft, wird aber kaum vorwärts getrieben.

17.3. Abtauchen:

Abkippen

Foto 18:

Das Abtauchen erfolgt am besten aus der Schwimmbewegung heraus. Oberkörper rechtwinkelig abkippen, Senkrechtstellen der Beine, ein kräftiger Armzug und absinken lassen, bis die Flossen vollständig unter Wasser sind. Dann kann mit gleichmäßigen, ruhigen Flossenschlägen auf den Grund zugeschwommen werden. Für einen rechtzeitigen Druckausgleich (vor dem Auftreten von Schmerzen) in den Mittelohren und in der Maske muss gesorgt werden. Erfolgen Druckausgleichmanöver mehrfach und kurz hintereinander, wird dabei auch die Maske „mit“ belüftet.

17.4. Aufstieg:

Den Blick zur Wasseroberfläche gerichtet, damit man Hindernisse rechtzeitig erkennen kann, dreht man sich um die Längsachse des Körpers und steigt mit nach oben gestrecktem Arm auf. Der Aufstieg soll langsam erfolgen, damit der Bewegungsablauf für das spätere Gerätetauchen selbstverständlich wird.

Arm vorhalten

Foto 19:

18. Tauchen mit Pressluft im Schwimmbad:

- Das Ziel der Übungen ist der sichere Umgang mit der Tauchausrüstung. Deshalb soll nach Möglichkeit im Schwimmbad die selbe Ausrüstung wie später bei den Freiwassertauchgängen verwendet werden.
- Die „Aufstiegsübung“ hat zum Ziel, dass das betonte Ausatmen bei jedem Aufstieg zur Selbstverständlichkeit wird. Das sich beim Auftauchen ausdehnende Atemgas muss ausgeatmet werden, um eine Überdehnung der Lunge zu vermeiden.
- Ein weiterer Schwerpunkt des Hallenbadtrainings sind Tarierübungen, bei denen das Erreichen des „schwerelosen“ Zustandes in jeder Wassertiefe angestrebt wird.

18.1. Übungen im Schwimmbad:

Sporttauchen ist grundsätzlich ein Partnersport. Zwei Taucher können sich bei Bedarf gegenseitig helfen. Nach Möglichkeit sollten Partner mit gleichem Ausbildungsniveau die Übungen durchführen.

Vorbereitung: Zuerst muss das Jacket an der Flasche montiert werden. Man dreht dazu die Flasche so weit herum, dass man hinter ihr steht (Gebrauchslage) und streift den Haltegurt des Jackets über Ventil und Körper der Flasche. Eine **„Fangschlaufe“** wird über das Ventil gelegt, die verhindern soll, dass die Flasche aus dem Jacket rutscht, wenn sich der Haltegurt lockert. Wenn der Luftauslass gerade noch über den oberen Rand des Jackets schaut, wird der Haltegurt fest gezogen. Wenn das Jacket zu tief sitzt, steht das Ventil vor und der Hinterkopf kann beim Sprung ins Wasser oder beim Tauchen anschlagen.

Nun wird der Lungenautomat so montiert, dass das Mundstück nach rechts abgeht. Der Inflatorschlauch wird angeschlossen und muss einschnappen. Das Ventil wird „sanft“ gegen den Uhrzeiger bis zum Anschlag auf- und anschließend ½ Umdrehung zurück gedreht.

Nun erfolgt die Funktionsprüfung:

- **Atemregler:** Der Schlauch des Finimeters speichert Luft für mindestens 2 tiefe Atemzüge! Daher soll zur Probe 3 x aus dem Automaten geatmet und dabei das Finimeter beobachtet werden. Der Zeiger darf sich nicht bewegen. Wenn die Druckanzeige beim Atmen hin und her pendelt, ist der Reservehebel versehentlich in der falschen Stellung, oder das Ventil wurde zu wenig aufgedreht.
- **Inflator:** Funktionieren Ein- und Auslass? Ist das Jacket dicht?
- **Schnellstopp:** Die Funktion muss vor jedem Tauchgang geprüft werden.

Sicherheitsmaßnahmen:

- Beim Anlegen der Tauchausrüstung darauf achten, dass der Bleigürtel nach dem Öffnen der Schnalle abgeworfen werden kann, ohne an Ausrüstungsteilen hängen zu bleiben.

Foto 20: *Einsteigen ins Wasser mit Gerät*

- Sog. „Buddy-Check“ durchführen: Überprüfung der eigenen Ausrüstung und der des Partners. Wo befinden sich die Lungenautomaten und die Bedienelemente der Jackets? Funktionieren sie?
- Blick auf die Wasserfläche: Ist der Einstiegsbereich frei? Maske und Regler mit einer Hand sichern, Tauchgerät oder Jacket mit der anderen Hand fixieren. Einstieg mit leicht aufgeblasener Weste durch einen Schritt nach vorn - nicht springen.
- Übungen ohne Hektik durchführen.
- Regler bei der Übung der Wechselatmung nie auslassen. Beide Taucher führen das Automatenmundstück mit je einer Hand, den Partner dabei mit der anderen Hand fest halten.
- Beim Aufstieg zur Oberfläche immer gleichmäßig weiter atmen, nie Luft anhalten.

- Bei der Aufstiegsübung ohne Automat nach oben schauen, Arm zum Schutz vorstrecken, Mund öffnen, Luft bewusst entweichen lassen.
- Auch im Schwimmbad **langsam** zur Oberfläche **aufsteigen**!

18.2. Handzeichen im Schwimmbad:

Alles in Ordnung ?
Ich habe Verstanden!

Gib mir Luft

Kein Druckausgleich

Foto 20:

18.3. Übungen zur Beherrschung der Ausrüstung:

Tarieren (Schweben) mit Jacket und Tarieren mit der Lunge:

Gerade so viel Luft ins Jacket blasen, dass man nach tiefer Einatmung ohne zusätzliche Bewegungen vom Boden des Schwimmbeckens abhebt. Man beginnt langsam zu steigen. Die Luft im Jacket dehnt sich aus und man muss gerade so viel Luft ausatmen, dass man nicht mehr weiter steigt. Beginnt man nach dem neuerlichen Einatmen zu steigen, muss man etwas ausatmen, um den Auftrieb auszugleichen. Sinkt man hingegen, muss man tiefer einatmen. Entscheidend für den Auftrieb ist das Gesamtvolumen von Lunge und Jacket.

Tarieren

Foto 21:

Es ist wichtig, dass sich der Taucher nicht vom Boden abstößt und möglichst nicht mit den Händen nachhilft. Er muss sich Zeit nehmen, um zu erfahren, wie er mit seiner Atmung den Schwebezustand beeinflussen kann.

Das Tarieren muss bei den späteren Tauchgängen mit Hilfe des Jackets erfolgen. Ruhiges Atmen sollte bei korrekter Tarierung keinen wesentlichen Einfluss auf den Schwebezustand haben.

Beim Aufstieg dehnt sich die Luft im Jacket aus. Der Aufstieg wird „kontrolliert“, indem man das Mundstück **in Richtung Oberfläche** anhebt und stoßweise kleine Mengen Luft ablässt.

> Die Luft kann nur abgelassen werden, wenn der Faltenschlauch nicht durchhängt und das Mundstück des Inflators höher liegt, als der Anschluss am Jacket.

- **„Schwebeübung“:** Wenn sich im Jacket die richtige Luftmenge befindet, wird die Tarierung mit der Lunge in unterschiedlichen Tiefen geübt.
- **„Aufstiegsübung“:** Tauchgerät unter Wasser ablegen, ohne Gerät langsam zur Oberfläche aufsteigen. Dabei muss bewusst auf die Ausatmung geachtet werden.
- **Gerät „antauchen“:** Mit der ABC-Ausrüstung zum Tauchgerät abtauchen, Atmung aufnehmen, Gerät anlegen und den Tauchgang fortsetzen.
- **„Alternative Luftversorgung“:** Atmen aus dem Zweitautomaten des Partners, Wechselatmung mit dem/den Partner(n).

18.4. Übungen zur Stressbewältigung:

- Tauchen ohne Maske
- Gerät antauchen ohne Maske
- Partnerrettung

Foto 22: *Rettungsübung*

1) Position hinter dem „Bewusstlosen“ einnehmen

2) Eine Hand umfasst den Unterkiefer des Opfers, öffnet den Mund und platziert den Automaten in seinem Mund. Durch Zug am Unterkiefer, bei gleichzeitiger **Überstreckung des Halses**, wird der Automat fixiert und weiterer Wassereintritt in die Atemwege verhindert. Die Zunge kann den Rachenraum nicht durch Zurücksinken verschließen. Hingegen kann die sich ausdehnende Luft aus der Lunge ohne Gefahr einer Lungenüberdehnung jederzeit abströmen.

3) Sofortiges Stabilisieren der Schwimmlage durch Luftzufuhr ins EIGENE Jacket (das man ja besser kennt und bedienen kann) und bei Bedarf durch zusätzliche Flossenschläge, **um ein weiteres Absinken zu verhindern**.

4) Vorsichtiges Auslassen von etwas Luft aus dem Jacket des Tauchpartners, so dass dieser mit seinem **Kopf etwa in Brusthöhe des Retters** positioniert wird. Die Überstreckstellung des Halses erlaubt jederzeit eine Kontrolle des Gesichtes, der Automatenfunktion und der Jacket- Ventile des Tauchpartners, während seine etwas negative Tarierung dafür sorgt, dass er nicht eine unkontrollierbare Lage einnimmt, indem er nach oben wegschwebt. Trägt das Opfer einen **Trockentauchanzug**, muss der Arm, an dem sich das Auslassventil befindet, mit der Hand, die den Unterkiefer fixiert, unterfahren werden. Dadurch ist auch eine Bedienung bzw. eine Kontrolle dieses Ventils möglich.

5) Wird der Auftrieb der Jackets in geringerer Tiefe merkbar, muss AUS BEIDEN soviel Luft ausgelassen werden, **dass die Aufstiegsgeschwindigkeit kontrolliert werden kann**, ohne dass die Position des Opfers verändert wird.

6) Lässt man irrtümlich zu viel Luft aus dem Jacket des Partners, kann man den Abtrieb durch zusätzliche Flossenschläge entgegnen, das eigene Jacket bleibt als Auftriebsmittel wirksam.

7) Lässt man aus dem eigenen Jacket zuviel Luft ab, kann nur Flossenarbeit gegen ein Absinken helfen, während über den Inflator der Auftrieb wieder hergestellt wird.

8) Passiert etwas Unvorhersehbares, durch das der Retter gefährdet wird, sinkt zwar das Opfer, das bei Bewusstlosigkeit unter Wasser ohnehin die schlechteren Chancen hat, leichter ab, der Retter erreicht aber mit hoher Wahrscheinlichkeit die Oberfläche (der Eigenschutz des Retters steht an erster Stelle)**.**

9) An der Wasseroberfläche wird in beiden Jackets so viel Auftrieb hergestellt, dass der Partner zum Beckenrand, ans Ufer oder zu einem Boot transportiert werden kann. Ist der Verunfallte bewusstlos, wird die Lage wie bei der Bergung unter Wasser beibehalten: Der Hals bleibt überstreckt und der Lungenautomat im Mund. Der Retter zieht den Verunfallten durch Zug am Unterkiefer hinter sich her. Im Falle eines Atemstillstandes und einer längeren Schwimmstrecke kann eventuell eine Beatmung durch Drücken des Duschknopfes im Intervall durchgeführt werden.

Ist der Gerettete hingegen bei Bewusstsein, hält der Retter seinen Partner an den Flossen und schiebt ihn vor sich her. Der Retter kann auf diese Art das Opfer beobachten und mit ihm reden.

10) Wenn die Übung vom Boden des Schwimmbeckens aus erfolgt, sollte sich der Retter nicht abstoßen, sondern den Auftrieb der Jackets nützen. Stößt er sich vom Boden ab, wird er meist zu schnell, lässt zu viel Luft ab und landet wieder am Boden. Der Retter soll die Kontrolle des Auftriebs mit beiden Jackets lernen.

18.5. Ablegen & Versorgen der Ausrüstung:

⇒ An der Wasseroberfläche mit dem Jacket Auftrieb herstellen, Bleigurt abnehmen und diesen am freien Ende (nicht an der Schnalle) festhalten, um keine Gewichte zu verlieren. Gurt auf den Beckenrand legen, Gerät abnehmen, mit dem Standfuß voraus auf den Beckenrand schieben.

⇒ Die Maske wird nach unten zum Hals geschoben und immer zuletzt abgenommen, denn wer im Wasser oder beim Ausstieg in ein Boot seine Maske verliert, kann nicht mehr weiter tauchen. Die Maske kann in einer geeigneten Box oder im Fußteil der Flossen abgelegt werden, um einen Bruch der Gläser zu vermeiden.

⇒ Das Flaschenventil wird geschlossen und der Automat durch Betätigen des Duschknopfes der zweiten Stufe entlüftet. Nun können Automat und Jacket abgenommen werden. Das Anschlussstück der ersten Stufe wird mit einer trockenen! Schutzkappe verschlossen, damit kein Wasser eindringen kann. Lungenautomaten werden so abgelegt, dass ein Knicken der Schläuche vermieden wird und dass keine schweren Gegenstände auf ihnen zu liegen kommen.

⇒ In das Jacket eingedrungenes Wasser muss durch die Luftablassventile entleert werden, dabei muss das Ablassventil den „tiefsten Punkt“ bilden. Wenn sich ein „Wassersack“ bildet, kann das Jacket nicht entleert werden. Am Ende wird das Jacket etwas aufgeblasen und die Vergurtung geschlossen.

⇒ Die Flaschen können nun wieder gefüllt werden.

19. Tauchausbildung im Freiwasser:

Im Freiwasser ist ein Kälteschutzanzug erforderlich und es muss durch den zusätzlichen Auftrieb des Anzugs besonders in Oberflächennähe wesentlich mehr tariert werden. Der Taucher muss sich vor dem ersten Tauchgang mit seinem Computer vertraut machen (Bedienungsanleitung!). Die Verwendung von 2 unabhängigen Automaten erhöht die Sicherheit, sollte im Kaltwasser einmal ein Automat vereisen. Ein Schwerpunkt der Ausbildung ist die Übung des „standardisierten“ Aufstiegs.

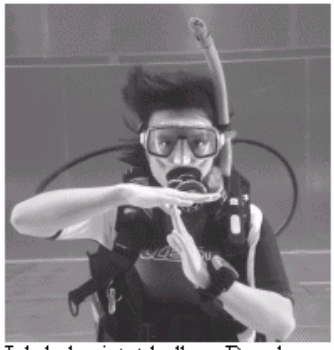
19.1. Allgemeine Sicherheitsmaßnahmen:

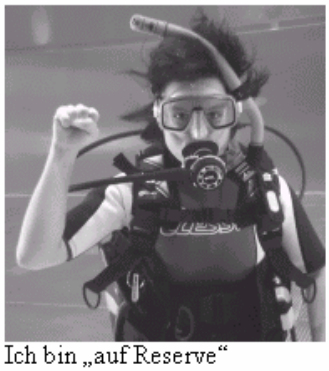
Unfallmanagement für den Tauchplatz nach den Gegebenheiten **vor dem Tauchen** festlegen: Wo sind Notfallkoffer und Sauerstoff? Welche Möglichkeiten der Kontaktaufnahme mit Rettungsdienst (Notrufnummer: 144, evtl. DAN International +39 039 605 7858) gibt es? Welche ist die beste Anfahrtsroute? Gibt es eine Landemöglichkeit für einen Hubschrauber?

- Sichtkontakt mit dem/den Partner(n) während des Tauchganges ist wichtig, weil nur dadurch die Verständigung durch Handzeichen und die gegenseitige Kontrolle möglich sind. Bei stark eingeschränkter Sicht (z. B. in einer Schlammwolke) müssen sich Partner oft gegenseitig festhalten, damit sie sich nicht verlieren. Während dieser Phase ist die Verständigung nur mit Hilfe von vorher vereinbarten Handdruck-Zeichen möglich.
- Wird man dennoch von einem Partner getrennt, müssen nach einer kurzen Rundumsicht **alle Taucher der Gruppe** unter Einhaltung der Sicherheitsstopps **zur Oberfläche aufsteigen**. Fehlt ein Taucher, wird nach aufsteigenden Luftblasen gesucht, denen man ggf. folgen kann. Während man selbst im Wasser treibt, sind Luftblasen an der Oberfläche nur schwer zu sehen. Die Entscheidung über ein neuerliches Abtauchen zum „vermissten“ Taucher hängt von den jeweiligen Umständen (z. B. Tauchtiefe, Restluft, Ausbildungsstand der restlichen Gruppenmitglieder, Sicht, Strömung usw.) ab. Wenn ein Taucher nicht innerhalb kürzester Zeit zur Oberfläche kommt, muss in jedem Fall ein Hilferuf abgesetzt werden, bevor eine selbständige Suche unter Wasser eingeleitet wird.
- Dringt während des Tauchganges Wasser in die Mund- und/oder Nasenöffnung ein, sollte dieses ausgeblasen und nicht geschluckt werden, da mit dem Wasser immer auch komprimiertes Atemgas geschluckt wird. Im Verdauungstrakt befindliches Gas dehnt sich beim Aufstieg aus. Handelt es sich um ein größeres Gasvolumen, kann dieses u. U. eine Magenüberdehnung bedingen. Macht sich beim Auftauchen ein Spannungsgefühl im Bereich des Magens bemerkbar, muss der Luft vor einem weiteren Aufstieg die Möglichkeit zum Entweichen durch die Speiseröhre gegeben werden.
- Obwohl die Schallleitung unter Wasser besser ist, als in der Luft, ist das Richtungshören stark eingeschränkt. Eine Schallquelle ist nicht zu „orten“. Besonders vor dem Auftauchen muss der Taucher um sich und nach oben schauen, um eine mögliche Gefahr (z. B. durch Boote) rechtzeitig zu erkennen.
- Der tiefe Sicherheitsstopp muss spätestens bei einem Flaschendruck von 60 bar erreicht werden. Der Taucher muss wissen, welchen Druck er für seinen „standardisierten“ Aufstieg benötigt.
- Bei großer Kälte muss die Grundzeit verkürzt werden. Tauchgänge sollten in diesem Fall die Nullzeitgrenze nicht erreichen.

- Handzeichen:

Zeig mir deinen Flaschendruck


Ich habe jetzt halben Druck


Ich bin „auf Reserve“

Mein Automat vereist

Mir ist kalt

Ich habe Probleme

Foto 23: *6 Handzeichen im See*

19.2. Vor dem Tauchgang:

- Vollzähligkeit und Funktion der eigenen Ausrüstung überprüfen
- Vorbesprechung: Wie soll der Tauchgang durchgeführt werden, was ist zu erwarten?
- Voraussichtliche Grundzeit und Tiefe?
- Welche Nullzeit oder Dekozeit ist zu erwarten?
- Reicht die Luft für den geplanten Tauchgang? Mit welchem Flaschendruck müssen wir den Aufstieg beginnen?
- Gegenseitiges Überprüfen der Ausrüstung und Adjustierung (sog. „Buddy Check“)

19.3. Während des Tauchgangs:

- 3 m – Check: Überprüfung der Lungenautomaten, des Flaschendrucks, des Tarierverhaltens und des Druckausgleichs (Druckausgleich in der Maske nicht vergessen)
- Abstand zum Partner und zum Grund des Gewässers an die Verhältnisse (z. B. Sicht, Schlamm, fester Untergrund usw.) anpassen, mit dem Partner auf gleicher Höhe bleiben
- Wiederholt Flaschendruck und Computeranzeigen vergleichen
- Aufstiegszeiten beachten, Sicherheitsstopps einhalten

19.4. Übungstauchgänge:

19.4.1. Gewöhnungstauchgang:

Der erste Tauchgang im See ist ein Gewöhnungstauchgang, der dem Verhalten des Tauchschülers angepasst werden muss. Schwerpunkte des Tauchgangs sind Gewöhnung an die „fremde“ Umgebung, Einhalten einer stabilen Schwimmlage, bewusstes Atmen und Tarieren. Der verbrauchte Druck kann zur Bestimmung des AMV und damit des „durchschnittlichen Druckverbrauchs“ für die nächsten Tauchgänge dienen.

19.4.2. Übungen zur Beherrschung von Ausrüstung und Aufstieg:

- Tarieren in unterschiedlichen Tiefen, Einhaltung einer stabilen Schwimmlage
- Einhaltung einer bestimmten Tiefe mit und ohne Flossenschlag
- Übung des standardisierten blasenarmen Aufstiegs
- Erreichen des tiefen Stopps spätestens mit 50 bar oder dem vorher vereinbarten Druck

19.4.3. Übungen zur Stressbewältigung zuerst nur in „Dekotiefe“:

- Maske ausblasen
- Simulation von Luftnot
- Alternative Luftversorgung
- Simulation eines vereisten Atemreglers. Dabei muss der „vereiste“ Automat abgedreht und später wieder aufgedreht werden.
- Rettungsübung

Ein Tauchschüler kann und soll eine Übung ablehnen, wenn er sich dabei nicht wohl fühlt. Die Wiederholung einer Übung ist auch an einem anderen Tag möglich.

19.4.4. Allgemeine Regeln für sicheres Tauchen:

- Tauche nie alleine
- Tauche nicht, wenn du dich nicht wohl fühlst
- Tauche nicht mit vollem Magen
- Tauche nur in Tiefen, für die du ausgebildet bist.
- Plane jeden Tauchgang, denn dein Computer kann ausfallen.
- Verwende für die Tauchgangsplanung eine Tabelle.
- Plane den tieferen Tauchgang als ersten und suche die größte Tiefe am Anfang des Tauchgangs auf. Das vermindert die Stickstoff-Gesamtsättigung.Führe nach Möglichkeit nur Tauchgänge in der Nullzeit durch. Vermeide dekompressionspflichtige Tauchgänge.
- Vermeide anstrengende körperliche Tätigkeiten in der Tiefe.
- Vermeide während eines Tauchgangs wiederholte Aufstiege in geringe Tiefen („Jojo-Tauchen“).

- Tauche konservativ, indem du Kälte, Trainingszustand, Lebensalter, Übergewicht u.s.w. durch verlängerte Sicherheitsstopps berücksichtigst.
- Verkürze die Grundzeit bei tiefen Wassertemperaturen oder starker körperlicher Belastung.
- Achte darauf, die höchstzulässigen Aufstiegsgeschwindigkeiten nicht zu überschreiten (Computeranzeige). Nicht alle Computermodelle können die Wahrscheinlichkeit von Mikrobläschen berechnen.
- Halte einen tiefen Sicherheitsstopp von 3 min in halber Tauchtiefe ein – auch innerhalb der Nullzeit.
- Berücksichtige einen Nullzeit-Sicherheitsstopp von 3 – 5 min in 5 m Tiefe, besonders bei Kälte
- Vergleiche die Anzeige deines Computers mit der des Partners. Gibt es Unterschiede, sollten die konservativeren Werte berücksichtigt werden, d. h., es ist z. B. sinnvoll, auf einer Dekostufe vor dem weiteren Aufstieg so lange zu warten bis auch der „langsamere" Computer den Aufstieg erlaubt.
- Steige besonders in den letzten Metern bewusst langsam zur Oberfläche auf.
- Achte auf eine ausreichende Flüssigkeitszufuhr zwischen den Tauchgängen (Mineralwasser, Fruchtsäfte, kein Alkohol!)
- Tausche nie den Tauchcomputer, wenn du innerhalb der letzten 12 Stunden (besser 24 Stunden) vorher getaucht hast. Die vorangegangenen Tauchgänge werden sonst nicht in die Berechnung der Stickstoffaufnahme und –abgabe einbezogen. Bevor ein Tauchcomputer an einen anderen Taucher verliehen wird, muss die Entsättigung vollständig sein (Display!).
- Halte eine Oberflächenpause von mindestens 2 Stunden ein, bevor du neuerlich tauchst. Beachte Warnungen des Computers.
- Führe nicht mehr als 3 Tauchgänge pro Tag durch
- Warte 12 Stunden (nächtliche Pause) nach einem Tauchtag, bevor du wieder tauchst.
- Halte bei mehreren aufeinander folgenden Tauchtagen jeden 3. – 4. Tag tauchfrei, damit der Körper den aufgenommenen Stickstoff vollständig abbauen kann. Damit nimmt das Risiko einer DCS ab.
- Tauche nicht unmittelbar nach einer anstrengenden Reise in den Urlaub und stelle sicher, dass du das Flugverbot vor der Heimreise einhalten kannst.
- Vermeide körperliche Anstrengungen (z. B. Sport) vor, besonders aber nach dem Tauchen. Flüssigkeitsdefizite und physische Belastung können das Auftreten von Symptomen einer DCS begünstigen.
- Auch bei Einhalten aller Regeln können Symptome einer DCI auftreten. Werden solche bemerkt, müssen unmittelbar Erste Hilfe Maßnahmen eingeleitet werden. Auch wenn die Anzeige des Computers auf keinen Fehler beim Tauchen hinweist, müssen Symptome einer DCI als solche erkannt und behandelt werden.
- **Zum Tauchcomputer:** Verfolgt man die Anzeigen seines Computers aufmerksam und prägt man sie sich ein, ist ein Ausfall des Computers kein Grund zur Panik. Der Tauchgang wird nach Möglichkeit mit den Computerdaten des Tauchpartners beendet. Ein funktionstüchtiger Computer ist eine 100 %-ige Reserve, wenn beide Taucher die gleichen Tauchgänge durchgeführt haben. Ansonsten kann mit Tabelle, Tiefenmesser und Uhr der (hoffentlich vorher geplante) Tauchgang nach den Vorgaben beendet werden. Ist der Computer bei einem Wiederholungstauchgang ausgefallen, kann ein verlängerter Si-

cherheitsstopp notwendig werden. Bei Computerausfall sind die Informationen über die Restsättigung nicht mehr verfügbar. Vor der Verwendung eines Ersatzcomputers muss daher 24 Stunden gewartet werden.

Vorsicht ist bei Computern mit zu vielen und zu kleinen Daten auf dem Display geboten, die bei Dunkelheit oder Stress nur schlecht abgelesen werden können. Anzeigen, die währen des Ablesens umschalten, sind ebenfalls nicht zu empfehlen. Die Anzeige sollte sich auf wesentliche Daten beschränken.

„Worst case scenario“: Wenn alle Empfehlungen nicht umgesetzt werden können, sollte das Tauchgerät in etwa 5 m Tiefe leer geatmet werden. Weitere Tauchgänge dürfen in den nächsten 24 Stunden nicht durchgeführt werden. Der/die betroffene(n) Taucher müssen unbedingt beobachtet werden, ob Symptome einer DCI auftreten.

19.4.5. Tauchempfehlungen des Autors:

- Wenn du Ausrüstungsgegenstände ausleihst, darfst du dich nicht darauf verlassen, dass sie funktionieren und dir passen. Du musst alle selbst überprüfen!
- Ein Tauchanfänger hat im „blauen Wasser“ nichts verloren, er soll immer den Grund des Gewässers sehen können.
- Sei vorsichtig („besser 5 min lang feige, als ein Leben lang tot“).
- Versuch nicht, den Druckausgleich mit Gewalt herbeizuführen.
- Schluck’ keine Luft.
- „Rudere“ nicht mit den Armen. Zur Fortbewegung und Stabilisierung genügen die Flossen. Wer sich mit den Armen rudert, kann noch nicht tarieren!
- Schau, ob du eine Schlammspur hinter dir nachziehst!
- Beobachte deinen Partner und handle mit Hausverstand. An seiner Schwimmlage und Atmung erkennst du, ob er Probleme hat. Entferne dich nicht zu weit von ihm.
- Vergiss nicht, dein Finimeter zu kontrollieren.
- Halte alle Aufstiegsgeschwindigkeiten und Sicherheitsstopps ein.
- Du sollst nicht nur ein- sondern auch ausatmen
- Dekomprimiere tiefer, als es dein Computer vorgibt.
- Atme ruhig, dann verbrauchst auch du beim Austauchen nie mehr als 3 bar/min.
- Steig’ „blasenarm“ auf, das erhöht die Sicherheit und reduziert die Müdigkeit nach dem Tauchen.
- Probleme, die unter Wasser aufgetreten sind, lassen sich am besten unter Wasser lösen. Für jedes Problem gibt es eine Lösung.
- Zähle zuerst bis 5 und du handelst nicht mehr unüberlegt. So vermeidest du das Aufkommen einer Panik!
- Viel Spaß beim Tauchen!

20. Notfälle:

Sicheres Tauchen erfordert Umsicht und die **Beobachtung des Partners**. Aus dem Verhalten des Partners erkennt man, ob er sich wohl fühlt oder Hilfe braucht. Meist sind es Kleinigkeiten, die, wenn sie gleichzeitig auftreten, zu einem Notfall führen. Eine angelaufene Maskenscheibe und Tarierprobleme können in eine Paniksituation münden, wenn der Partner nicht rechtzeitig helfend eingreift.

Schwere Tauchunfälle sind oft eine Folge von Unachtsamkeit, Leichtsinn und falscher Einschätzung, die in einem **Luftmangel** resultieren. Nur ein sehr geringer Anteil ist auf eine ungenügende Dekompression zurückzuführen. Trotzdem muss jeder Tauchgang geplant werden. Die Sicherheit eines Tauchers wird wesentlich gesteigert, wenn er jederzeit abschätzen kann, wie lange er noch mit seiner Luft auskommt.

Immer wieder werden Taucher vermisst, weil sie von **Strömungen** abgetrieben werden. Taucher, die sich von ihrer Gruppe getrennt haben, und weder eine Signalboje, Signalpfeife, Lampe, noch einen VHF-Notsender oder Spiegel mitführen, werden im offenen Meer zwischen den Wellen von Suchmannschaften nur schwer gefunden. Geeignete Signalgeräte müssen daher ein fester Bestandteil der Tauchausrüstung bei solchen Tauchgängen sein.

Tauchgänge in **Wracks oder Höhlen** erfordern eine geeignete Ausbildung und Erfahrung. Oft ist die Sicherheit eine Frage der Ausrüstung.

Zahlreiche **Meereslebewesen** wie z. B. Quallen, Korallen, Schnecken und Fische mit Giftstacheln u.a.m. stellen eine Gefahr für Taucher ohne Anzug oder Kopfhaube dar. Grundsätzlich sollte man zu allen Meeresbewohnern einen entsprechenden Abstand einhalten und sie nicht berühren. Auch scheinbar harmlose Tiere, wie z. B. Kegelschnecken, können durch ihre Giftwirkung unangenehme Folgen bedingen. Auch eine „Handschuhpflicht“ ist keine absolute Lösung, da viele Taucher meinen, mit Handschuhen erst recht alles anfassen zu müssen. Die Gefahr gebissen, gestochen oder vernesselt zu werden, oder einen elektrischen Schlag bei Berührung eines Zitterrochens zu bekommen, ist zu groß. Deshalb: Gut tarieren und Abstand halten! Vor Tauchreisen sollte man sich mit Büchern über die Tier- und Pflanzenwelt der Meere beschäftigen, um die wichtigsten Gefahren zu kennen.

Es ist vorteilhaft, Wiederholungstauchgänge mit demselben **Partner** durchzuführen, weil sich dabei gleichartige Dekompressionsprofile ergeben. Bei Ausfall eines Messinstruments (Computer, Uhr) kann der Tauchgang mit der 100-prozentigen Reserve des Tauchpartners sicher beendet werden.

Die größte Gefahr für einen Taucher ist jedoch die **Selbstüberschätzung**. Situationsgerechtes Tauchen entsprechend dem Ausbildungsstand und der Erfahrung sind wichtige Faktoren für die Unfallverhütung!

Trotz Umsicht und guter Ausbildung können Zwischenfälle beim Tauchen nicht absolut vermieden werden. Davon können auch Tauchlehrer betroffen sein. Läuft alles schief und ist man auf sich gestellt, muss man versuchen Ruhe zu bewahren und **Panik** zu **vermeiden**. Oft hilft ruhiges Durchatmen, ein Zählen bis 5 und Suggerieren von Ruhe! Dann kann man meistens wieder klar denken und beugt einem unnötig hohen Luftverbrauch vor. Der Auftrieb wird durch exaktes Tarieren so rasch wie möglich sichergestellt. Der Aufstieg soll kontrolliert mit Sicherheitsstops erfolgen. Kann kein ausreichender Auftrieb oder keine gute Schwimmlage erreicht werden, muss der Bleigürtel entweder während des Aufstieges oder aber auch später, beim Schwimmen an der Oberfläche, abgeworfen werden.

21. Umweltschutz:

21.1. Schutz des Eigentums, Tauchgenehmigung

Jedes Gewässer hat einen Eigentümer, ohne dessen Erlaubnis nicht getaucht werden darf. Der Eigentümer kann das Tauchen unter verschiedenen Auflagen gestatten. Einstiege werden oft auf bestimmte Areale beschränkt, mitunter auch Tauchplätze zugewiesen. An einzelnen Seen wird auch ein Entgelt für das Tauchen gefordert.

21.2. Belastung im Uferbereich

Wird ein Gewässer von mehreren Tauchern besucht, ist der Uferbereich in kurzer Zeit von parkenden Autos und unzähligen Ausrüstungsgegenständen übersät. Es entsteht unvermeidbar Lärm, der Tiere verscheucht und die Idylle beeinträchtigt. Für Badegäste, die nicht tauchen, entsteht oft der Eindruck, dass Taucher wie eine Heerschar „einfallen“ und Badeplätze vollständig beanspruchen. Eine entsprechende Rücksicht ist hier angezeigt. Bleiben dann nach dem Verlassen des Tauchplatzes noch Abfälle liegen, trägt das zusätzlich zum „Pauschalbild“ der Taucher im negativen Sinn bei. Das Resultat ist absehbar: Tauchgenehmigungen werden entweder teurer oder nicht mehr erteilt.

21.3. Belastung des Tauchgewässers

Taucher und Fischer haben Interessen, die sich nicht decken. Um Problemen aus dem Weg zu gehen, werden daher Tauchgenehmigungen nur zu bestimmten Zeiten oder an bestimmten Orten erteilt, während Fischern andere Reviere zugewiesen werden.

„Altlasten“ in Gewässern sind manchmal interessant, besonders wenn es sich dabei um Autowracks, versunkene Boote, Bäume oder Schlitten handelt, die schon viele Jahre dort liegen.

Einzelne, meist künstlich angelegte Seen werden als Wasserspeicher für die Stromerzeugung genutzt. Die oft erheblichen Schwankungen des Wasserspiegels verhindern das übliche Pflanzenwachstum. Errichtet man in solchen Gewässern Ausbildungsplattformen oder einen Unterwasser-Parcours, wird dadurch weder die Tier- noch die Pflanzenwelt beeinträchtigt. Im Gegenteil, häufig nehmen Fische die „Kunstbauten“ in Besitz und nutzen sie als Unterschlupf.

„Nebenerscheinungen“ des Umweltschutzes können aber auch negative Auswirkungen haben. Z. B. gelangen infolge der in guter Absicht gelegten Ringleitungen keine Abwässer mehr in die Seen. Sind aber Bakterien und andere Kleinstlebewesen nicht mehr in ausreichender Zahl vorhanden, wird anderen Seebewohnern die Lebensgrundlage entzogen. Zooplankton nimmt ab, Algen wuchern und natürliche Biotope werden geschädigt. Die Pfrille (Elritze) ist in einigen Seen schon ausgestorben.

21.4. Verhalten des Tauchers

Der Boom des Tauchtourismus beeinträchtigt die Qualität der Tauchplätze. Tiere ziehen sich über und unter Wasser zurück, Schilfgürtel und pflanzlicher Bewuchs werden geringer und damit Zufluchtstätten für Seenbewohner rarer. Eine Begegnung mit Fischen oder Krebsen wird auch für rücksichtsvolle Taucher zur Seltenheit.

Ein Taucher muss lernen, dass er Gast in dieser für ihn „fremden“ Welt ist und sich entsprechend anpassen. Gutes Tarieren, ruhige Bewegungen, stilles Beobachten und geduldiges Abwarten ermöglichen einen Einblick in die reale Unterwasserwelt. Tiere sind scheu, aber neugierig. Sie kommen aus ihren Verstecken und zeigen sich, wenn sie sich sicher fühlen.

Ein Taucher sollte sich unter Wasser wie ein Gast benehmen und die Bewohner dieses Lebensraumes respektieren.

TAUCHSPORTVERBAND ÖSTERREICHS · CMAS TAUCHER TSVÖ

22. Kontrollfragen zur Dekompression:

1. Wie wirkt sich der Unterschied in der Tiefenmessung zwischen Meer- und Süßwasser auf die Dekompression aus und warum?

   In der Tauchpraxis überhaupt nicht. Die Dekozeiten hängen nur vom gemessenen Druckunterschied ab. Im Süßwasser wird eine um ca. 2 % geringere Tiefe angezeigt als im Meer.

2. Welche Sicherheitsgrenzen sollen die Partialdrücke der Komponenten eines Atemgases nicht überschreiten?

   Stickstoff: 3,9 bar entsprechend einer Tauchtiefe von 40 m mit Luft.
   Sauerstoff: 1,6 bar entsprechend einer Tauchtiefe von 66 m mit Luft oder 6 m mit Sauerstoff.
   Beim Tauchen mit Nitrox wird heute von mehreren Ausbildungsorganisationen ein pO_2 von höchstens 1,5 bar als „sicher“ empfohlen.

3. Wie lange könnte ein Taucher mit 45 bar in einer 10-Liter-Flasche im Notfall in 3 m Tiefe dekomprimieren? Wie groß ist der „Druckverbrauch“ pro min?

   Der Druckverbrauch beträgt etwa 3 bar/min, daher kann bis zu 45 : 3 = 15 min dekomprimiert werden.

4. Wie lange könnte ein Taucher mit 50 bar in einer 15 *l*-Flasche im Notfall in 3 m Tiefe dekomprimieren? Wie groß ist der „Druckverbrauch“ pro min?

   Der Druckverbrauch beträgt etwa 2 bar/min, daher kann bis zu 50 : 2 = 25 min dekomprimiert werden.

5. Was bewirkt der Wasserdampf in der Lunge?

   Die Einatemluft wird mit Wasserdampf gesättigt. Der Druck des gesättigten Wasserdampfes ist temperaturabhängig, aber unabhängig vom Umgebungsdruck. Er vermindert die Partialdrücke von Sauerstoff und Inertgasen. Er wirkt wie ein inertes Gas und verlängert die Dekozeiten.

6. Was versteht man unter „Sättigung“?

   Sättigung ist der Gleichgewichtszustand, in dem gleich viele Gasteilchen in das Gewebe diffundieren, wie aufgrund von Wärmeschwingungen der Moleküle wieder austreten. Der Gasdruck im Gewebe ist gleich groß wie der Gasdruck in der Umgebung (Atemluft).

7. Was ist ein „schnelles Gewebe“?

   Gewebe mit großem Wasseranteil wie Blut, ZNS oder Nerven haben kurze Halbwertszeiten von 4 – 27 min und werden daher als „schnelle Gewebe“ bezeichnet. Sie werden rascher als andere aufgeladen, erreichen daher höhere Inertgasdrücke und müssen als erste in größeren Dekotiefen dekomprimiert werden. Die tiefen Dekopausen sollten unbedingt eingehalten werden, weil es sich um besonders empfindliche Gewebe handelt, in denen keine Blasen entstehen dürfen..

8. Wie weit muss ein Gewebe dekomprimiert werden?

   Bis es den geringeren Druck der nächsthöheren Dekostufe oder den Oberflächenluftdruck toleriert. Es müssen jedoch alle Gewebe berücksichtigt werden, weil sich die verantwortlichen Leitgewebe abwechseln.

9. Was bedeutet die Halbwertszeit T = 12,5 min ?

   Die Differenz zwischen Umgebungs- und Gewebedruck. wird in 12,5 min halbiert

10. Was verdanken wir Haldane?

Er hat erkannt, dass der gelöste Stickstoff für die Entstehung der Dekompressionskrankheit verantwortlich ist und hat die Gasdiffusion der Gewebe untersucht. Wir verdanken ihm die ersten Tauchtabellen.

11. Was verdanken wir Bühlmann?

Er beschrieb die Druckabhängigkeit der einzelnen Gewebe und ermöglichte dadurch Bergseetabellen. Wir verdanken ihm das erste Rechenmodell für Bergseecomputer und Bergseetabellen.

12. Was ist ein „Rechenmodell“?

Es ist ein mathematisches Modell, das die physiologischen Abläufe des Körpers in Form von Gleichungen nachzuvollziehen versucht. Anhand eines „Durchblutungsmodells“ können Formeln abgeleitet werden, welche die Gesetzmäßigkeiten der Gasdiffusion und die druckabhängigen Eigenschaften der Gewebe beschreiben. Auf der Grundlage des Rechenmodells basieren Computerprogramme zur Berechnung von Dekompressionsvorgängen. Es gibt Rechenmodelle, welche nur die Gasdiffusion beschreiben und andere, die versuchen, auch die Bläschenbildung nachzuvollziehen.

13. Was ist der „Geltungsbereich“ einer Tabelle?

Er gibt an, für welche Seehöhen die Tabelle eingesetzt werden kann. Damit wird auch festgelegt welche Anfangs- und Bergseehöhen der Berechnung zugrunde liegen und welche Gewebe und Einflussgrößen berücksichtigt wurden. Außerdem sollte dadurch ein Vergleich mit anderen Tabellen möglich sein (Wunschvorstellung).

14. Was versteht man unter der Grundzeit?

Als „Grundzeit“ wird von allen Tauchorganisationen die Zeit vom Beginn des Abstieges bis zum Verlassen des Grundes bezeichnet. Damit wird ein sog. „Rechtecktauchgang“ beschrieben.

Die größte Aufladung mittlerer und langsamer Gewebe erfolgt auch noch während des Aufstiegs bis zum tiefen Sicherheitsstopp. Deshalb wird heute die Grundzeit vom Abtauchen bis zum Erreichen des tiefen Sicherheitsstopps gerechnet.

15. Was passiert während der „Grundzeit“?

Die einzelnen Gewebe werden unterschiedlich stark mit Inertgasen aufgeladen. Die schnellsten Gewebe erreichen die höchsten Drücke.

16. Was passiert während der „Nullzeit“?

Am Ende der Nullzeit hat das Leitgewebe für die jeweilige Tauchtiefe den höchstzulässigen Gewebedruck erreicht, mit dem – theoretisch – ohne Einhalten von Sicherheitsstopps ein gefahrloser Aufstieg zur Oberfläche möglich ist.

17. Was passiert während des Aufstieges?

Sobald der Umgebungsdruck geringer ist als der Gewebedruck, beginnt die Entsättigung eines Gewebes. Schnelle Gewebe entsättigen sich schon während des Aufstieges, langsame Gewebe werden in dieser Phase noch weiter aufgeladen und agieren als „Speicher“, aus denen der Stickstoff noch Stunden nach dem Tauchgang abgegeben wird.

18. Welches Gewebe bestimmt die Aufstiegsgeschwindigkeit?

Sobald die Aufsättigung eines Gewebes zu Ende ist und die Entsättigung begonnen hat, muss die Aufstiegsgeschwindigkeit begrenzt werden. Da schnelle Gewebe zuerst mit der Entsättigung beginnen, bestimmen sie die anfängliche Aufstiegsgeschwindigkeit in größerer Tiefe.

19. Was versteht man unter dem „tolerierten Umgebungsdruck“?

Es ist der geringste Umgebungsdruck (= Druck der Atemluft), den ein Gewebe noch verträgt, wenn es mit Inertgas aufgeladen wurde. Erst wenn dieser Druck unterschritten wird, bilden sich Gasbläschen.

20. Welche Phase der Dekompression ist die wichtigste?

Die Annäherung an den tolerierten Umgebungsdruck (= minimale erlaubte Tiefe). Dekotiefen dürfen nicht unterschritten werden und der Aufstieg aus 5 m zur Wasseroberfläche muss bewusst langsam erfolgen.

21. Was passiert in den Dekopausen?

Die Gewebe werden stufenweise entsättigt, bis sie am Ende der Dekompression den Oberflächendruck schadlos tolerieren.

22. Was passiert, wenn die Aufstiegsgeschwindigkeit zu groß war?

Die schnellen Gewebe können sich nicht rechtzeitig entsättigen. Um das erhöhte Risiko einer Blasenbildung zu minimieren, sollten die tiefen Dekostufen um einen tiefen Sicherheitsstopp verlängert werden.

23. Was passiert, wenn die Aufstiegsgeschwindigkeit zu gering war?

Wenn der Aufstieg vom tiefsten Punkt des Tauchganges deutlich langsamer als 10 m/min erfolgt, muss die Aufstiegszeit zur „Grundzeit“ addiert werden. Rechnet man die Grundzeit bis zum Erreichen des „tiefen Sicherheitsstopps“ , so muss man nur mehr darauf achten, nicht zu schnell zu werden.

24. Was passiert während der Oberflächenpause?

Die Gewebedrücke beginnen sich durch Atmung von atmosphärischer Luft unterschiedlich schnell an den atmosphärischem Luftdruck (Oberflächendruck) anzupassen. Die Gewebe werden entsättigt.

25. Was ist eine Wiederholungsgruppe?

Es ist bei Bühlmanntabellen ein Code (für 16 verschiedene Gewebe), der das Leitgewebe oder das langsamste Gewebe bezeichnet, welches nach einem Tauchgang dekomprimiert werden muss. Bei einem Wiederholungstauchgang wird damit der „Reststickstoff“ vorangegangener Tauchgänge berücksichtigt.

Manche Tabellen (Nullzeittabellen für Sporttaucher) verwenden für ihre Wiederholungstabelle eine große Anzahl von Wiederholungsgruppen (26), andere kommen mit 14 Gruppen aus.

26. Wozu dient der „Gewebecode“?

Der Gewebecode (=Wiederholungsgruppe) dient als Anhaltspunkt für ein System von Zeitzuschlägen, die in Abhängigkeit von der Tiefe des folgenden Tauchganges variieren.

27. Wozu dienen die Zeitzuschläge?

Der Gewebeüberdruck am Ende eines Tauchgangs oder am Ende der Oberflächenpause beeinflusst nachfolgende Tauchgänge. Je nach Tiefe des Folgetauchgangs sind die Auswirkungen unterschiedlich. Mittlere und langsame Gewebe sind während der Oberflächenpause nicht ganz entsättigt worden, erreichen beim Folgetauchgang höhere Drücke und müssen daher länger dekomprimiert werden. Durch den Zeitzuschlag zur Grundzeit werden die Dekozeiten verlängert.

28. Warum sind die Zeitzuschläge für große Tiefen kürzer?

Schnelle Gewebe haben nach der Oberflächenpause die geringste Restsättigung. Sie werden bei einem nachfolgenden Tauchgang auf die höchsten Drücke aufgeladen, und bestimmen daher bei tiefen Tauchgängen die Dekompression. Sie müssen als erste in größeren Dekotiefen wieder entsättigt werden und sind auch wieder schnell entladen. Die notwendigen Zeitzuschläge werden somit kurz.

29. Warum sind die Zeitzuschläge für geringe Tiefen länger?

Während schnelle Gewebe möglicherweise noch in der Nullzeit bleiben, erreichen langsame Gewebe durch die Restsättigung aus dem vorausgegangenen Tauchgang erhöhte Drücke. Da die absoluten Werte der Drücke im Verhältnis zum Umgebungsdruck immer noch gering sind, können sie nur in geringer Tiefe dekomprimiert werden. Je geringer der Druckunterschied, desto länger dauert die Entladung.

30. Gibt es Grenzen für die Anwendung der „Wiederholungsgruppen“?

Für den ersten Wiederholungstauchgang sind die Zuschläge der Bühlmanntabellen meist länger als erforderlich. Da langsamere Gewebe aber bei jedem Folgetauchgang weiter aufgeladen werden, verändert sich das Leitgewebe fast bei jedem nachfolgenden Tauchgang und die Zeitzuschläge der Tabelle sind nicht mehr in der Lage den steigenden Dekompressionsbedarf langsamer Gewebe zu bestimmen. Es sind somit für relativ sichere Planungen höchstens 2 Wiederholungstauchgänge zulässig.

31. Wozu dient ein „tiefer Sicherheitsstopp“?

Er dient in erster Linie der Vermeidung einer größeren Anzahl von Mikrobläschen. Gas bleibt in größerer Tiefe in Lösung und durch die Verringerung der Aufstiegsgeschwindigkeit wird ein Entstehen von kleinsten Bläschen verhindert. Da mit Erreichen des tiefen Sicherheitsstopps auch das Ende der Grundzeit definiert ist, dient er zusätzlich der Bestimmung eventuell erforderlicher Dekozeiten und der „Dekoreserve“. Ein Sicherheitsstopp in 15 m kann die gesamte Dekozeit praktisch kaum beeinflussen.

32. Was sind „Mikrobläschen“?

Es sind kleinste Gasbläschen im Blut, die kleiner als rote Blutkörperchen sind und deshalb keine Symptome einer DCS verursachen. Sie verändern jedoch wahrend eines Tauchganges und in der folgenden Oberflächenpause ihre Größe (Gesetz von Boyle-Mariotte). Durch geeignetes Tauchverhalten können sie klein gehalten werden, damit sie nicht zu Symptomen einer DCS führen.

33. Was versteht man unter einem „Mikroblasen-Nachweis“?

Mikroblasen können erst ab einer gewissen Größe nachgewiesen werden. Moderne „Doppler-Detektoren“ ermöglichen den Nachweis dieser kleinen Bläschen durch Ultraschall im strömenden Blut und sind heute wichtige Instrumente zur Bewertung der „Sicherheit“ von Tauchprofilen.

34. Welche Gewebe erzeugen während eines Tauchganges Mikroblasen?

Die schnellen bis mittleren Leitgewebe mit der stärksten Belastung entsprechend dem Gewebekode.

35. Durch welche Maßnahme wird ein blasenarmer Aufstieg gefördert?

Durch Einhalten eines „tiefen Sicherheitsstopps“ wird ein „blasenarmer Aufstieg“ am meisten gefördert.

36. Was passiert, wenn der Tauchplatz höher liegt als der Wohnort?

Während des Aufstieges zum Tauchplatz beginnt die Anpassung der Gewebedrücke an den verminderten Luftdruck. Langsame Gewebe können sich nicht rechtzeitig an den verminderten Luftdruck anpassen und behalten ihren Druck, deshalb werden längere Dekozeiten erforderlich.

37. Was passiert, wenn ich am Vormittag in einem See im Tal und nachmittags in einem Bergsee tauchen möchte?

Es gibt keine Tabelle, die eine Höhenänderung zwischen zwei Tauchgängen innerhalb von 12 Stunden berücksichtigt. **Bevor man mit einem Bergseecomputer einen derartigen Tauchgang macht, muss man genau wissen, ob er überhaupt dazu geeignet ist die Berechnungen durchzuführen!**

38. Welche Tabelle verwendet man in 930 m Höhe?

Eine vorhandene Tabelle mit dem gleichen oder nächsthöheren Höhenbereich. Die Bühlmann Bergseetabelle berücksichtigt den Aufstieg von 701 m zur Tauchplatzhöhe. Liegt der Wohnort tiefer, so muss eine lange Wartezeit eingehalten werden, oder man muss die Methode des Tiefenzuschlages verwenden.

39. Wie erfolgt die Dekompression in einem Bergsee?

Ist der Computer dafür geeignet, den Aufstieg zum Bergsee mitzurechnen, darf sofort nach dem Eintreffen am Bergsee getaucht werden. Die Dekozeiten werden einerseits durch die stärkere Inertgassättigung der Gewebe im Tal (ähnlich wie bei einem Wiederholungstauchgang) und andererseits durch den verminderten Luftdruck auf Bergseeniveau verlängert. Leider geben die Computerhersteller keine erschöpfende Auskunft über die Wirkungsweise ihrer Geräte beim Tauchen in Bergseen.

Mit der Bühlmanntabelle 701 – 2500 m darf nach einem einstündigen Aufstieg zum Bergsee getaucht werden. Überschneiden sich die Höhenbereiche, weil der Taucher tiefer als 700 m wohnt, so muss eine Mindestwartezeit von 12 besser 24 Stunden eingehalten werden.

Wenn so lange Adaptationszeiten nicht eingehalten werden können oder wenn keine passende Tabelle vorhanden ist, wird die Methode des Tiefenzuschlages angewendet. Dazu kann grundsätzlich jede Bühlmanntabelle Verwendung finden. Der Tiefenzuschlag kann jedoch nur dann einfach gebildet werden, wenn eine Tabelle für Meeresniveau zur Verfügung steht.

40. Was bewirkt ein „langsames“ Gewebe im Bergsee?

Das langsamste Gewebe braucht etwa 12 Stunden um sich an den verminderten Umgebungsdruck anzupassen. Es wird daher während des Aufstiegs und während der Dekopausen immer noch aufgesättigt. Langsame Gewebe tolerieren den geringsten Gewebeüberdruck. Die langsamen Gewebe sind verantwortlich für die Wartezeit vor Passfahrten und Flügen.

41. Wie und warum verändert sich die „Nullzeit“ im Bergsee?

Je geringer der Luftdruck und je langsamer das Gewebe, desto weniger Inertgas kann in Lösung gehalten werden. Langsame Gewebe dürfen somit bei vermindertem Luftdruck nur weniger aufgeladen werden. Die Nullzeiten der Gewebe werden daher in Bergseen kürzer.

42. Durch welche Umstände wird die Dekompression am stärksten beeinflusst?

Beim Tauchen in Bergseen ohne vorherige Adaptionszeit muss die Dekozeit entsprechend verlängert werden, da der Körper nicht an den verminderten Luftdruck angepasst ist und die vermehrte Stickstoffbeladung einem Wiederholungstauchgang ähnelt.

Bei Verwendung von Nitrox verkürzen sich die Dekozeiten, da bei gleichartigen Tauchgängen weniger Stickstoff aufgenommen wird als bei Atmung von Luft. Allerdings kann der Wechsel von mit Sauerstoff angereicherten Gasgemischen auf den relativ geringen pO2 der Atmosphäre zu Problemen führen (relativer Sauerstoffmangel – sog „Off-Phänomen“)

43. Wie verändert sich das Flugverbot nach dem Tauchen in einem Bergsee?

Je höher der Bergsee, desto geringer ist der Unterschied zwischen Oberflächen- und Kabinendruck, desto kürzer wird das Flugverbot. Das Flugverbot der NITROX 21-Tabelle kann sich jedoch nicht verändern, weil sie für Meeresniveau berechnet wurde und der Gewebedruck nach dem Tauchgang von der Tauchtiefe und nicht von der Höhe des Bergsees abhängt.

23. Quellenverzeichnis:

[1]	Hammer, Morass, Raab: Lehrbuch der Physik, Oldenbourg Verlag Wien Schulbuch-Nr: 0492
[2]	Beat Müller: „Berechnungsgrundlagen der Bühlmanntabelle 86“, NEREUS 1/1987. Seiten 4 – 6
[3]	Klaus Meier-Ewert: „Grundlagen der Dekompression und Berechnung von Dekompressionsprofilen mit Hilfe der ZH-L12-Koeffizienten“ DER TAUCHLEHRER 4/1986, Seiten 14 – 24
[4]	A. Marroni: „Project Safe Dive, Research Report 2“ ALERT DIVER 4/2000, Seiten 21 – 23
[5]	UWATEC: „Das Rechenmodell der Aladin Tauchcomputer“ http://www.uwatec.com
[6]	P.B. Bennett: „A Half the Depth of Dive Safety Stop?“ ALERT DIVER 1/2001, Seite 4
[7]	Beat Müller: „Passfahrten und Fliegen ohne Druckkabine“ NEREUS (1/1988) Seiten 12 – 14
[8]	Helmut Zauchner: „Tauchen am Bergsee“ Instruktorensitzung des TSVÖ April 2002
[9]	Helmut Zauchner: „Tauchen mit Nitrox kann auch einfach sein“ TSVÖ – Tauchlehrerkurs Oktober 2001
[10]	Helmut Zauchner, Martin Rhomberg: „Empfehlungen für Dekompression & Aufstieg“, eine Empfehlung der Arbeitsgruppe des TSVÖ Mai 2001
[11]	E. Maiken: „Bubble Decompression Strategies“ DEEP TECH, Issue 6, 1995
[12]	A. Marroni: Introduction of extra deep stops in the ascent profile without changing the original ascent rates. „DSL“ Special Project 01/2000. Diving and Hyperbaric Medicine, Proceedings of the XXVI Annual Scientific Meeting of the European Underwater and Baromedical Society, R. Cali Corleo Ed. Malta 14-17 September, 2000: 1-8
[13]	A. Marroni: Instant speed of ascent vs. delta-p in the leading tissue and post-dive doppler bubble production. „DSL“ Special Project 02/2001. EUBS 2001 Proceedings of the 27th Annual Meeting. U. van Laak Ed. Hamburg 12 –16 September, 2001: 74 - 78
[14]	P.B. Bennett: What ascent profile for the prevention of decompression sickness? Recent Research on the Hill/Haldane ascent controversy. Paper presented at the 28th Annual Meeting of the EUBS, Bruges, 5-8 September 2002
[15]	Bruce R. Wienke: „Abyss/Reduced Gradient Bubble Model: Algorithm, Bases, Reductions, and Coupling to ZHL critical Parameters“ Southwest Enterprises Inc. P.O. Box 508 Santa Fe, N.M. 87504

24. Verantwortung und Versicherung:

25. Notizen: